



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Wave Star

Kramer, Morten Mejlhede

Publication date:
2005

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Kramer, M. (2005). Wave Star: Skala 1:40 modelforsøg : forsøgsrapport 3. Aalborg: Department of Civil Engineering, Aalborg University. (Hydraulics and Coastal Engineering; Nr. 23).

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Wave Star

—

Skala 1:40 modelforsøg, forsøgsrapport 3



Morten Kramer
Maj, 2005



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

AALBORG UNIVERSITY

SOHNGAARDSHOLMSVEJ 57 DK-9000 AALBORG DENMARK

TELEPHONE +45 96 35 80 80 TELEFAX +45 98 14 25 55

Hydraulics and Coastal Engineering No. 23

ISSN: 1603-9874

Wave Star

Skala 1:40 modelforsøg, forsøgsrapport 3

Morten Kramer

Forord

Denne rapport beskriver modelforsøg udført på Aalborg Universitet, Institut for Vand, Jord og Miljøteknik med bølgeenergianlægget Wave Star. Forsøgene er foretaget på foranledning af Per Resen Steenstrup, administrerende direktør i Wave Star Energy.

Nærværende rapport er tredje del af forsøgsrapporter med skala 1:40 Wave Star modellen, se Kramer *et al.* (2004c), Kramer og Frigaard (2004) samt Kramer og Andersen (2005).

Denne rapport beskriver forsøg foretaget i perioden 1/1-05 til 11/3-05.

En DVD er vedlagt rapporten på indersiden af omslaget. DVD'en indeholder kildedata, dokumenter, billeder og Excel regneark med beregninger og figurer. Video fra skala 1:40 modelforsøgene er beskrevet i Appendiks G. Video for bølgeretningen 60° forefindes på samme DVD som de øvrige dokumenter, mens video for bølgeretningen 0° forefindes på en særskilt DVD.

Kontakter vedr. forsøg/rapport udført af Aalborg Universitet:

Morten Kramer
Sohngaardsholmsvej 57
9000 Aalborg
Tlf. 96357230
Fax 98142555
E-mail: i5mkr@civil.aau.dk
Web: www.civil.aau.dk

eller

Peter Frigaard
Sohngaardsholmsvej 57
9000 Aalborg
Tlf. 96358479
Fax 98142555
E-mail: peter.frigaard@civil.aau.dk
Web: www.civil.aau.dk

Kontakt vedr. Wave Star kan rettes til den administrerende direktør:

Per Resen Steenstrup
Wave Star Energy
Maglemosevej 61
DK-2920 Charlottenlund

Tlf: +45 3940 4696
Fax: +45 3940 4697
E-mail: info@WaveStarEnergy.com
Web: www.wavestarenergy.com

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	7
2	Skala for model og bølger	8
3	Forsøgsopstilling	9
4	Bølger	10
4.1	Uregelmæssige bølger, modelskala 1:40	10
4.2	Regelmæssige bølger	10
5	Forsøgsprogram	11
6	Virkning af bølgeretning	12
6.1	$\pm 90^\circ$ drejning af system med én flyder (Serie T)	12
6.2	60° maskine med mange flydere (Serie S)	13
7	Virkning af flydervægt (Serie V)	16
8	Skyggevirkning	18
8.1	Effektreduktion for maskine med flydertypen Kegle- eller Kuglehat	18
8.2	Flydernes individuelle effektbidrag	19
9	Mekanisk transmissionssystem for én flyder (Serie T)	21
10	Konklusion	24
11	Referencer	26
Appendiks A. Liste over udførte forsøg		27
Appendiks A.1 Serie S: 60° bølger		27
Appendiks A.2 Serie T: Én flyder.....		31
Appendiks A.3 Serie U: Tyskerhat		34
Appendiks A.4 Serie V: Kegle- og kuglehat		34
Appendiks A.5 Serie W: Vandrette bølgekræfter		37
Appendiks B. Bølgemålinger & refleksioner		38
Appendiks B.1 Refleksioner fra stranden.....		38
Appendiks B.2 Refleksioner fra Wave Star		39
Appendiks B.3 Re-refleksioner fra bølgemaskine		39
Appendiks B.4 Skyggevirkning af Wave Star		39
Appendiks C. Figurer for egensvingningsforsøg		43
Appendiks D. Tabeller med flydernes individuelle effektbidrag		46
Appendiks E. Billeder af flydertyper		48
Appendiks F. Design bølgelaster på Wave Star flydere til Nissum Bredning		49
D.1 Indledning		49
D.2 Lodrette kræfter.....		50
D.3 Vandrette kræfter		50
D.4 Kommentarer		58
Appendiks G. Liste over video på DVD		60

1 Indledning

Forsøgene rapporteret i dette skrift danner baggrunden for valget af flyderdesign til Wave Star maskinen til Nissum Bredning. I forlængelse af resultaterne beskrevet af Kramer og Andersen (2005) er virkningen af især følgende undersøgt nærmere ved yderligere og supplerende laboratorieforsøg:

1. Bølgeretningens indvirkning, for skråt indkomne bølger under en vinkel på 60° , med hensyn til
 - a. bølgeklima
 - b. flyderform og vægt
 - c. gab mellem flydere
2. Effektoptaget fra et system med én flyder med hensyn til
 - a. typen af transmissionssystem:
 - i. fast rotationshastighed, variabel belastning
 - ii. fast belastning, variabel rotationshastighed
 - b. bølgeretning
3. Vandrette bølgelaster svarende til store bølger i Nissum bredning

Bølgeretningen er en væsentlig parameter, da de vandrette kræfter på flyderne under skråt indkomne bølger kan give anledning til horisontale bevægelser af flyderne. Grunden til dette skyldes armenes begrænsede længde, og dermed den forholdsvis store vinkel mellem arm og vandspejl. Herved vil vandrette laster under skråt indkomne bølger give anledning til vridende momenter i det plan, hvor armene kan bevæges. I forsøgene med 60° maskinen vil flyderne reflektere og generere bølger i bølgebassinet, hvilket vil ændre bølgeforholdene væsentligt i forhold til bølgeforholdene for 0° maskinen. Disse virkninger er beskrevet nærmere i Appendiks B.

Effektoptaget fra et system med én flyder er interessant, da resultaterne kan anvendes som reference uden skyggevirkninger. Desuden er resultaterne gode til fremtidig sammenligning med numeriske beregninger.

Forsøg foretaget med henblik på fastlæggelse af design bølgekræfter for flydere til Nissum bredning er beskrevet i Appendiks F.

For detaljer vedr. kalibrering af måleinstrumenter henvises til de øvrige forsøgsrapporter af Kramer *et al.* (2004-2005). Konzeptets virkemåde findes beskrevet på hjemmesiden <http://www.wavestarenergy.com/>.

For at sikre god vandkontakt blev to muligheder diskuteret i Kramer og Andersen (2005); forøgelse af flydervægt og/eller indsættelse af et leje mellem flyder og arm. Det blev efterfølgende bestemt, at undgå lejet og udelukkende anvende flydervægt for at sikre vandkontakt. Derudover viste resultaterne, at en øget flydervægt (dermed større inertie og energilagring i systemet) gav en særdeles gunstig virkning på effektiviteten fra Wave Star.

2 Skala for model og bølger

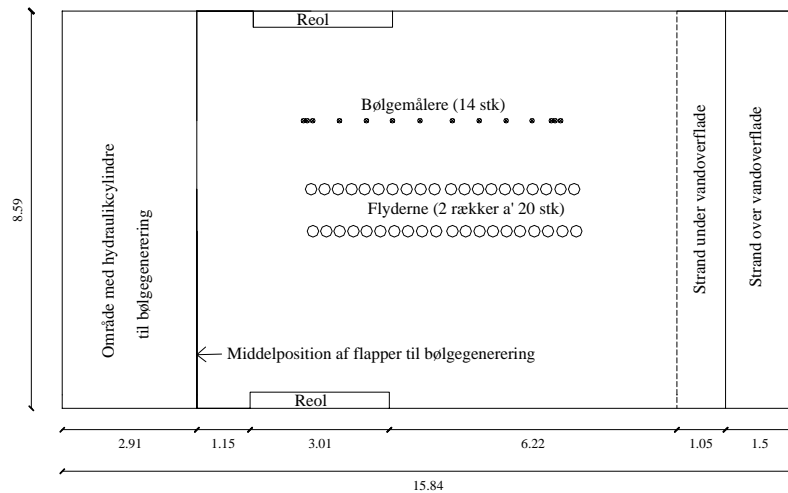
Da de dominerende kræfter i forsøgene er gravitationskræfter, skales efter Froudes modellov. Heraf følger ved skala 1:n, hvor $n = 40$ for Wave Star modellen:

Tabel 1. Skalering af modelparametre.

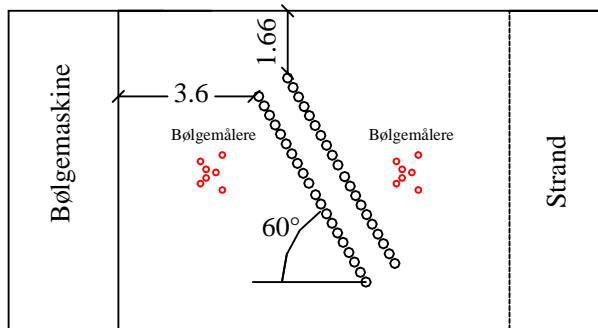
Parameter	Skala	Enhed
Længde	1: n	m
Tid	1: \sqrt{n}	s
Vægt	1: n^3	kg
Kraft	1: n^3	N
Moment	1: n^4	Nm
Effekt	1: $n^{3.5}$	W
Effekt pr. længdeenhed	1: $n^{2.5}$	W/m

3 Forsøgsopstilling

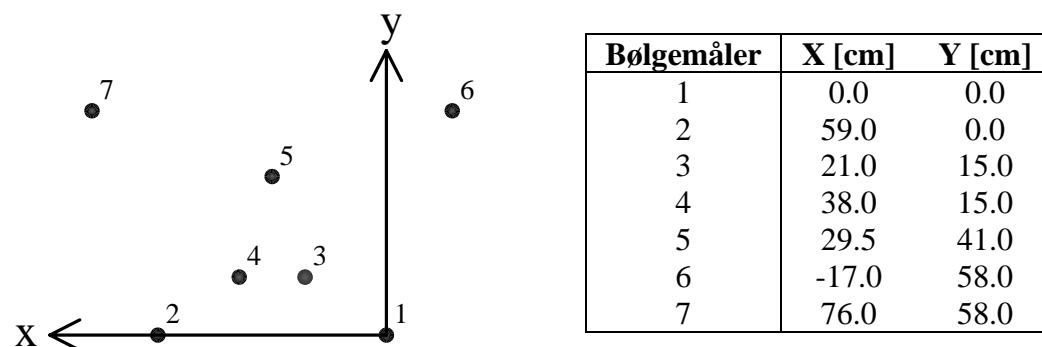
Forsøgene er foretaget på Aalborg Universitet, Institut for Vand, Jord og Miljøteknik i det dybe bølgebassin. Under forsøgene var maskinen placeret cirka i midten af bassinet. Forsøgene gennemført med bølgeretning 0° svarer til placeringen vist på Figur 1. I forsøgene med bølgeretning 60° var maskinen drejet, således bølgerne ramte maskinen under en vinkel på 60° , se Figur 2. I disse forsøg blev to systemer med hver 7 bølgemålere anvendt, se Figur 3 for den interne placering af bølgemålerne. Et system var placeret foran maskinen og et system bag maskinen, således refleksioner og skyggevirkninger fra anlægget kan kortlægges.



Figur 1. Forsøgsopstilling for bølgeretning 0° . Mål i meter i modelskala.



Figur 2. Forsøgsopstilling for bølgeretning 60° . Mål i meter i modelskala.



Figur 3. Placering af bølgemålere i de to systemer.

For detaljer vedr. indretning af bassinet henvises til Kramer og Frigaard (2004).

4 Bølger

Som angivet i Tabel 2 undersøges Wave Star for et bølgeklima svarende til et typisk forekommende bølgeklima i Nordsøen. Peak Periode T_p og signifikant bølgehøjde H_s karakteriserer det anvendte bølgespektrum, i dette tilfælde JONSWAP-spektret med en peak enhancement faktor på 3,3. Den gennemsnitlige effekt til rådighed i bølgerne beregnes som summen af den nederste række i Tabel 2 til 16 kW pr. meter bølgefront i fuld skala, jvf. Bølgekræftsudvalgets Sekretariat (2000).

Tabel 2. Bølgeklima i Nordsøen (på 50 m dybt vand, 100 km ud fra Vestkysten). Prototype værdier.

		Søtilstand					
		I	II	III	IV	V	
H_s [m]	<0.5	1	2	3	4	5	>5.5
T_p [sek]		5,6	7,0	8,4	9,8	11,2	
Effekt pr meter [kW/m]	-	2	12	32	66	115	>145
Timer pr. år	966	4103	1982	944	445	211	119
Sandsynlighed [%]	11,0	46,8	22,6	10,8	5,1	2,4	1,4
Bidrag til middeleffekt [kW/m]	-	0,94	2,71	3,46	3,37	2,76	2,77

4.1 Uregelmæssige bølger, modelskala 1:40

Modellen af Wave Star testes for bølger svarende til de i Tabel 3 angivne. Værdierne i tabellen svarer til Nordsøforholdene i Tabel 2 for skala 1:40.

Tabel 3. Uregelmæssige bølger svarende til de i bølgebassinet testede.

		Søtilstand				
		I	II	III	IV	V
H_s [m]		0,025	0,050	0,075	0,100	0,125
T_p [sek]		0,89	1,11	1,33	1,55	1,77
Effekt pr meter [W/m]		0,20	1,19	3,16	6,52	11,36
Timer pr. år		4103	1982	944	445	211
Sandsynlighed [%]		46,8	22,6	10,8	5,1	2,4
Bidrag til middeleffekt [W/m]		0,09	0,27	0,34	0,33	0,27

4.2 Regelmæssige bølger

Wave Star er testet i 5 regelmæssige bølgeserier. Disse 5 søtilstande er i Tabel 4 benævnt R-I, R-II, R-III, R-IV og R-V. Bølgeserierne er valgt, således H svarer til H_s og T til T_p for de uregelmæssige søtilstande I, II, III, IV og V. Det bemærkes, at de opnåede effekter i disse regelmæssige søtilstande overstiger det, der kan forventes i de tilsvarende uregelmæssige søtilstande. Dette skyldes både, at energiindholdet i de regelmæssige bølger er større og at tilpasning af maskinens optimale belastning i de regelmæssige bølger er enklere.

Tabel 4. Regelmæssige søtilstande.

Søtilstand	Modelskala		Fuld skala	
	H [m]	T [s]	H [m]	T [s]
R-I	0,025	0,89	1	5,6
R-II	0,050	1,11	2	7,0
R-III	0,075	1,33	3	8,4
R-IV	0,100	1,55	4	9,8
R-V	0,125	1,77	5	11,2

5 Forsøgsprogram

Det i perioden gennemførte forsøgsprogram er oversigtsmæssigt angivet i Tabel 5. Beskrivelse og resultater fra Serie A-E forefindes i rapport af Kramer og Frigaard (2004) og resultater fra Serie F-R i Kramer og Andersen (2005). En komplet liste over de i perioden udførte forsøg forefindes i Appendiks A og de anvendte flydertyper er beskrevet i Appendiks E.

Tabel 5. Oversigt over forsøgsserierne.

Test serie	Forklaring til test serien
S	60° drejet maskine
T	Én flyder af typen Ø200 Kugleflyder
U	Flydertypen Tyskerhat. 0° maskine
V	Flydertyperne Keglehat, Kuglehat, Afskåret kuglehat. Variabel flydervægt. Egensvingningsforsøg og forsøg med 0° maskine.
W	Vandrette bølgekræfter på én flyder af typen Afskåret kuglehat

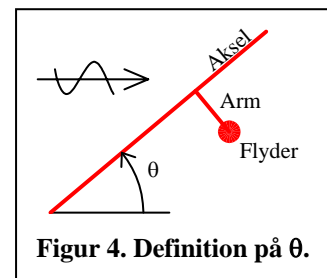
6 Virkning af bølgeretning

Kramer og Andersen (2005) undersøgte virkningen af 20° drejede bølger og viste, at virkningen af drejningen på 20° var minimal. For at undersøge virkningen af en stor ændring i bølgeretningen, er der udført forsøg med en 60° drejet maskine. Efterfølgende forklares indledningsvis, vha. forsøgene med én flyder, hvorfor drejningen medfører en ændring i anlæggets produktion. Herefter følger resultater for en maskine med mange flydere. Ændringen i effektproduktionen skyldes to forhold:

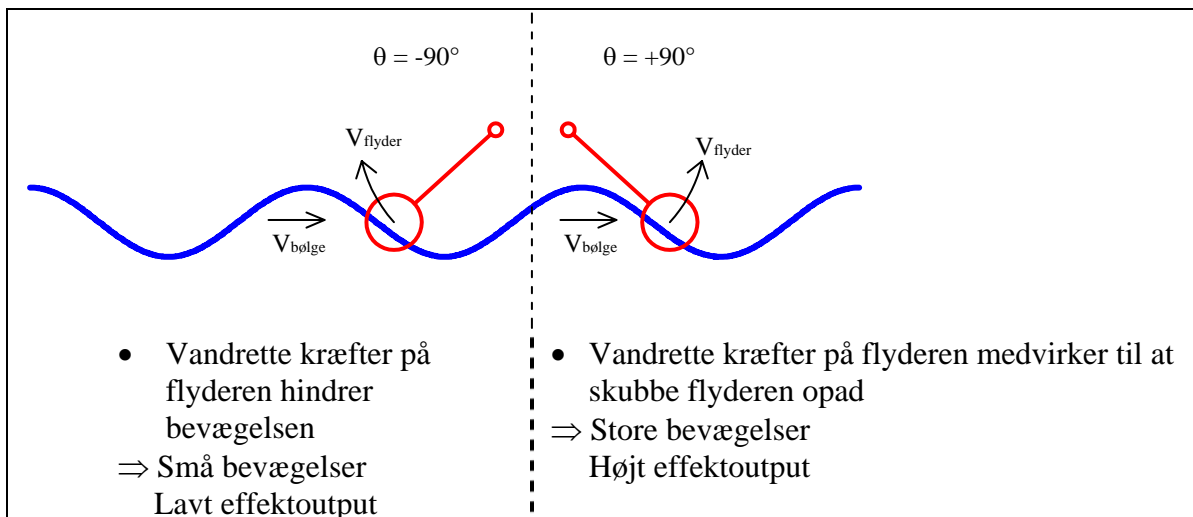
- Skyggeforholdene ændres, således bølgepåvirkningen af især den forreste række flydere bliver større for større drejning
- De vandrette bølgekræfter bidrager til det drivende moment

6.1 $\pm 90^\circ$ drejning af system med én flyder (Serie T)

Grunden til ændringen i det drivende moment uddybes nærmere. Når drejningen θ bliver stor, vil de vandrette bølgekræfter bidrage til det drivende moment. Da de vandrette og lodrette kræfters fase afhænger af bølgeperioden, vil virkningen af de vandrette bølgekræfter være afhængig af bølgeperioden. For normalt forekommende bølger, forventes virkningen af de vandrette bølgekræfter imidlertid generelt at medføre et konstruktivt bidrag til det drivende moment for $\theta > 0^\circ$ og et destruktivt bidrag for $\theta < 0^\circ$. Dette forhold er tydeliggjort på skitsen i Figur 5, hvoraf det ses, at flyderbevægelsen er modsatrettet bølgebevægelsen for $\theta = -90^\circ$ (destruktivt bidrag), samt at flyderbevægelsen følger bølgebevægelsen for $\theta = +90^\circ$ (konstruktivt bidrag).



Figur 4. Definition på θ .

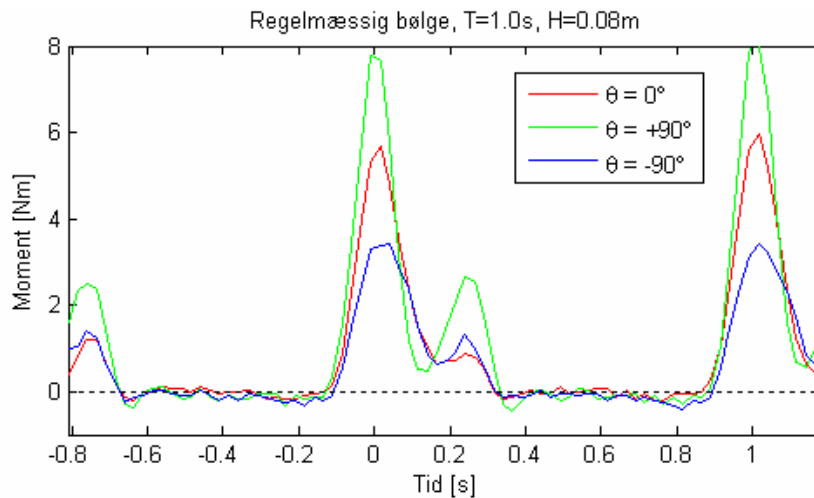


Figur 5. Skitse af flyderbevægelser for bølgeretningerne -90° og $+90^\circ$.

I forsøgene med én flyder (Serie T) var der ingen ændringer i skyggeforhold for ændringer i θ . Disse forsøg kan således anvendes til at illustrere, i hvor stor grad de vandrette bølgekræfter bidrager til ændringen i effektproduktion.

På Figur 6 er vist et eksempel på det målte drivende moment for en regelmæssig bølge med $T = 1\text{ s}$ ved en konstant omdrejningshastighed på omtrent 0.4 Rad/s . På figuren er

kurverne placeret, således maksimum for momentet optræder til tiden nul. Det fremgår som forventet, at momentet i gennemsnit er størst for $\theta = +90^\circ$ og mindst for $\theta = -90^\circ$.



Figur 6. Eksempel på det målte drivende moment på én flyder. Omdrejningshastighed ≈ 0.4 Rad/sek. Værdier i modelskala.

For at undersøge ændringen i produceret effekt P for den ene flyder, er toppunkterne på effektkurverne fundet i tre regelmæssige søtilstande og én uregelmæssig søtilstand for $\theta = 0^\circ$, $+90^\circ$ og -90° . I Tabel 6 er ændringen i disse maksimaleffekter angivet. Det fremgår heraf, at effektændringerne er afhængige af bølgeperioden, omend $\theta = +90^\circ$ generelt bidrager konstruktivt til produktionen og $\theta = -90^\circ$ bidrager destruktivt til produktionen. Tages usikkerhederne på toppunkterne in mente, vurderes at de vandrette bølgekræfter medfører en effektforøgelse for $\theta = +90^\circ$ på omtrent 10-20%, mens effektmindskelsen ved $\theta = -90^\circ$ omtrent er 20%.

Tabel 6. Ændring i produceret effekt P for den drejede maskine med én flyder.

Bølge	$P_{+90^\circ} / P_{0^\circ}$	$P_{-90^\circ} / P_{0^\circ}$
R, T=0.8s, H=0.08m	2.43	0.84
R, T=1.0s, H=0.08m	1.18	0.78
R, T=1.2s, H=0.08m	0.84	0.79
UR III	1.07	0.79

6.2 60° maskine med mange flydere (Serie S)

Der er foretaget forsøg med 40 flydere (hel maskine), 20 flydere og 10 flydere ligeligt fordelt på de to rækker. Effekttoutputtet for disse forsøg er undersøgt, og det er fundet, at effekttoutputtet pr flyder omtrent er ens for 60° maskinen uanset flyderantallet.

For maskinen drejet 60° er der endvidere foretaget forsøg med flydere monteret på tre måder:

- Alle flydere monteret på den forreste række arme
- Alle flydere monteret på den bagerste række arme
- Alle flydere ligeligt fordelt på de to rækker, med en placering midt på maskinen

I Tabel 7 er effektforøgelsen ved placering af alle flyderne på én række undersøgt for 60° maskinen. Det fremgår heraf som forventet, jf. beskrivelsen i kapitel 6.1, at uanset flyderform og søtilstand yder en maskine udelukkende med flydere på den forreste række

en lavere effekt end effekten fra en tilsvarende maskine med flydere på to rækker. Ligeledes yder maskinen udelukkende med flydere på den bagerste række en væsentligt højere effekt end effekten fra en tilsvarende maskine med flydere på to rækker. Effektførøgelsen for maskinen med flydere på den bagerste række er generelt større end den tilsvarende formindskelse for maskinen med flydere på den bagerste række. Dette skyldes, at for maskinen med flydere på to rækker medfører skyggevirkningerne fra den forreste række en reduktion i effektbidraget fra de bagerste flydere. Skyggevirkningen beskrives nærmere i kapitel 8.

Tabel 7. Virkning af flyderplacering på effektoutput P for 60° maskine.

Flydertype	Søtilstand	Række	$P / P_{\text{to rækker}}$
Ø200 kugle (gab = 0.5D)	R II	forreste	0.89
		bagerste	1.21
	UR II	forreste	1.05
		bagerste	1.81
Ø250 kugle (gab = 0.2D)	R II	forreste	0.70
		bagerste	1.04
	R III	forreste	0.70
		bagerste	1.49
	UR III	forreste	0.73
		bagerste	1.37
Kegle 1 (gab ~ 0.5D)	R II	forreste	0.90
		bagerste	1.22
	UR II	forreste	1.00
		bagerste	1.71

Af Tabel 7 fremgår yderligere, at effekttændringerne for maskinen med Ø250 kugler er anderledes end for maskinen med Ø200 kugler eller kegler. Dette forventes hovedsageligt at skyldes det mindre gab mellem flyderne for maskinen med Ø250 kugler. Øges gabet mellem flyderne, skygger de forreste flydere mindre, og de bagerste flydere får mulighed for at yde mere. Af Tabel 8 fremgår, at maskinen med stort gab (gab på 1.4 flyderdiameter) er i stand til at yde mindst 40% mere effekt end maskinen med lille gab (maskinen med gab på 0.2 flyderdiameter).

Tabel 8. Virkning af gab på effektoutput P for 60° maskine.

Forsøg med Ø250 kugleflydere på bagerste række.

Søtilstand	$P_{\text{gab}=1.4D} / P_{\text{gab}=0.2D}$
R II	1.72
R III	1.42
UR III	1.48

Effektoutputtet ved drejningen af maskinen på 60° er i Tabel 9 sammenlignet med effektoutputtet for 0° maskinen monteret med 20 flydere (½ maskine). For maskinen med Ø200 flydere og maskinen med kegleflydere er effektoutputtet i uregelmæssige bølger omtrent uændrede uanset drejningen af maskinen. For maskinen med Ø250 kugleflydere er effektoutputtet i den uregelmæssige bølge mindre for 60° maskinen, hvilket som før omtalt, skyldes skyggevirkninger og det lille gab mellem flyderne.

Tabel 9. Virkning af bølgeretning for ½ maskine.

Flydertype	Søtilstand	$P_{60^\circ} / P_{0^\circ}$
Ø200	R II	1.29
	UR II	1.08
Ø250	R II	1.20
	UR III	0.78
Kegle 1	R II	1.12
	UR II	0.95

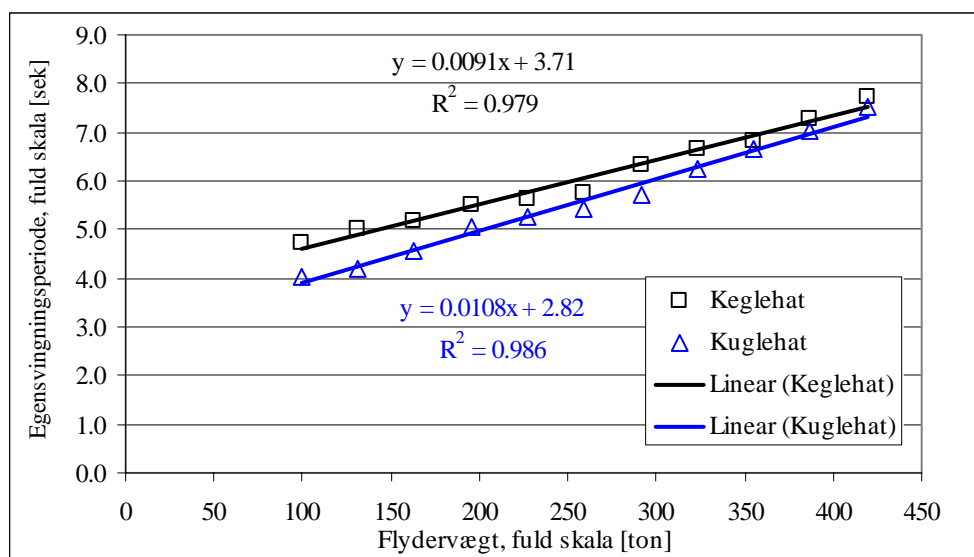
½ maskine producerer ved en drejning på 60° omtrent den halve effekt af en hel maskine. ½ maskine producerer imidlertid væsentligt mere effekt end det halve af en hel maskine når bølgerne er rettet direkte mod maskinen (0°). Med andre ord har en lang maskine en højere udnyttelsesgrad såfremt maskinen er drejet i forhold til bølgerne, idet skyggevirkninger fra foranliggende flydere er mindre. Af Tabel 10 fremgår, at årsgennemsnittet for effekten fra en hel maskine med Ø200 kugleflydere er 27% større ved en drejning af maskinen på 60°. Af tabellen fremgår desuden, at ½ maskine med flydertypen Tyskerhat generelt giver lavere effekt ved drejningen på 60°.

Tabel 10. Virkning af bølgeretning og flyderantal på effektoutputtet P .

Flydertype	$P_{60^\circ} / P_{0^\circ}$ for Søtilstand					Årsgennemsnit
	I	II	III	IV	V	
Hel maskine, Ø200 kugleflydere	1.39	1.45	1.32	1.12	0.98	1.27
½ maskine, flydertype Tyskerhat	0.95	0.88	0.78	0.70	0.83	0.82

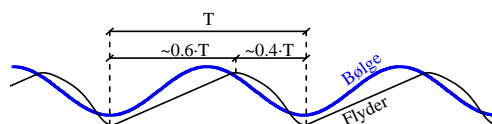
7 Virkning af flydervægt (Serie V)

Kramer og Andersen (2005) undersøgte virkningen af flydervægten i detaljer og viste, at udover bedre vandkontakt medfører flydervægten, at flyderen svinger længere ned i bølgedalen hvorved den får en større vandring og dermed kan yde et større arbejde. Flyderens egensvingningsperiode er den afgørende parameter for, om flyderen arbejder godt eller skidt. Hvis egensvingningsperioden er for lang (flyderen er for tung) svinger flyderen ned i bølgedalen for sent, hvorved den får mindre vandring og dermed yder et mindre arbejde. For flydertyperne Kuglehat og Keglehat er der i tilknytning til nærværende rapport udført egensvingningsforsøg (Appendiks C) til bestemmelse af disses egensvingningsperioder, se Figur 7. Det fremgår, at egensvingningsperioderne omtrent er lineært afhængige af flydervægten.



Figur 7. Flyderens egensvingningsperioder.

Den optimale egensvingningsperiode er imidlertid forskellig fra bølgeperioden pga. det ulineære transmissionssystem. Jævnfør skitsen i Figur 8 bør egensvingningsperioden være i størrelsesordenen 0.8 gange bølgeperioden i regelmæssige bølger, således flyderen kan nå at svinge ned i bølgedalen inden næste bølge passerer. Hertil kommer, at Wave Star generelt er mere effektiv i korte bølger, hvilket igen bevirker, at den optimale egensvingningsperiode er mindre end 0.8 gange middelbølgeperioden i uregelmæssige bølger. Da hovedparten af årsmidleffekten kommer fra søtilstand II og III, var det forventet, at en flydervægt i intervallet 200 til 300 ton (3 til 5 kg i modelskala) ville være optimalt.



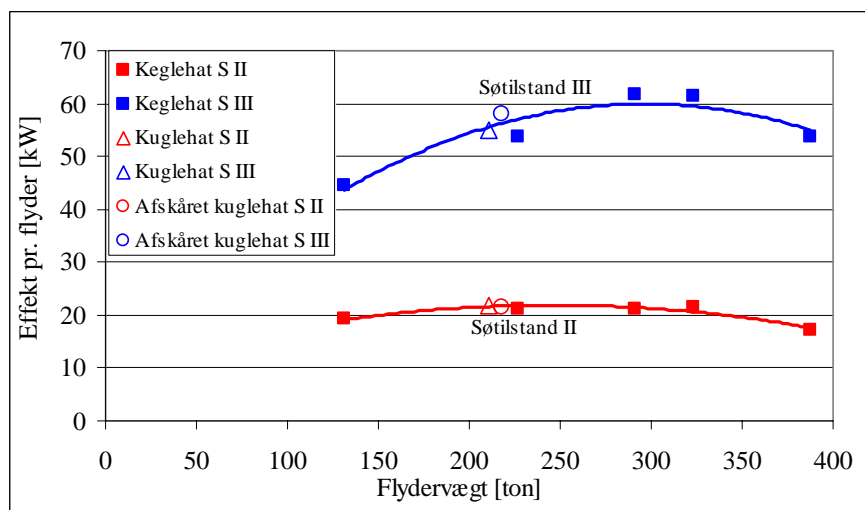
Figur 8. Principskitse af flyderbevægelsen og bølgeelevationen.

Der er i tilknytning til nærværende rapport gennemført forsøg med flydertyperne Keglehat, Kuglehat og Afskåret kuglehat for bølgeretningen 0° (Appendiks A.4). I Tabel 11 er forsøgsresultaterne for en hel maskine angivet og i Figur 9 er resultaterne vist for

Søtilstand II og III. Det fremgår, at for samme flydervægt er outputtet fra de tre flydertyper omtrent ens. Det fremgår endvidere, at for flydertypen Koglehat er en flydervægt på cirka 250 ton optimal i Søtilstand II og cirka 300 ton i Søtilstand III, hvilket er i overensstemmelse med forventningerne.

Tabel 11. Virkning af flydervægt for en hel maskine. Værdier pr. flyder i fuld skala.

Flydertype	Flydervægt [ton]	Effekt for søtilstand [kW]					Årsmiddel [kW]
		I	II	III	IV	V	
Koglehat	131	-	19.3	44.6	-	-	-
Koglehat	227	5.0	21.3	53.8	100.3	149.8	21.7
Koglehat	291	-	21.3	61.8	-	-	-
Koglehat	323	3.5	21.5	61.3	114.6	165.5	22.9
Koglehat	387	-	17.3	53.7	-	-	-
Kuglehat	211	5.5	21.7	55.0	99.1	145.9	22.0
Afskåret kuglehat	218	5.4	21.5	58.1	102.3	148.9	22.5



Figur 9. Virkning af flydervægt for en hel maskine i Søtilstand II og III (S II og S III).

Volumenet af flydertypen Afskåret kuglehat er omtrent 438 m³ i fuld skala. En flydervægt på 250 – 300 ton svarer således omtrent til en fortrængning på 55 – 65 % for denne flydertype.

8 Skyggevirkning

Som vist af Kramet *et al.* (2004c) producerer ½ maskine med Ø200 kugleflydere et større effektoutput pr. flyder end en hel maskine for bølgeretningen 0°. Da der i tilknytning til nærværende rapport er lavet forsøg for en maskine med én Ø200 kugleflyder (disse forsøg beskrives i kapitel 9), kan forsøgene sammenlignes for at illustrere skyggevirkningen, se Tabel 12. Heraf fremgår, at skyggevirkningerne for maskinen med Ø200 kugler er relativt små, således reduktionen i effektoutput pr. flyder for ½ maskine kun er cirka 20 % og for hele maskinen cirka 25 %. De begrænsede skyggevirkninger i disse forsøg forventes at skyldes det forholdsvis store gab (gab = 0.5 gange flyderdiameteren) samt de generelt lave effektoutput pr. flyder.

Tabel 12. Skyggevirkning for maskine med Ø200 kugleflydere (gab = 0.5D).

Maskine	Bølge	Effekt [kW/flyder]	$P / P_{\text{En flyder}}$	$P / P_{\text{1/2 maskine}}$
En flyder	UR II	23.9	1	1.22
	UR III	52.4	1	1.25
½ maskine	UR II	19.5	0.82	1
	UR III	41.8	0.80	1
Hel maskine	UR II	17.1	0.71	0.87
	UR III	39.1	0.75	0.94

8.1 Effektreduktion for maskine med flydertyperen Kegle- eller Kuglehat

For at undersøge størrelsen af skyggevirkninger på effektoutputtet for bølgeretningen 0°, er der udført forsøg med ½ maskine med flydertyperne Kegle- og Kuglehat for flydervægte omtrent svarende til den optimale flydervægt (250-300 ton), se Tabel 13.

Tabel 13. Effekt for ½ maskine. Værdier i fuld skala.

Flydertype	Flydervægt [ton]	Effekt [kW/flyder]	
		Søtilstand II	Søtilstand III
Keglehat	291	31.4	75.8
Kuglehat	275	29.9	70.8

Resultaterne for en hel maskine (Tabel 11) og resultaterne for ½ maskine (Tabel 13) er for maskinen med flydertyperen Kuglehat sammenlignet i Tabel 14. Det fremgår heraf, at effekten pr. flyder er større for ½ maskine. Således er effekten pr. flyder for en hel maskine 68% af effekten for ½ maskine i Søtilstand II, og i Søtilstand III er effekten pr. flyder for en hel maskine 82 % af effekten for ½ maskine. Som forventet er skyggevirkningen således større i Søtilstand II end i Søtilstand III. Da flyderstørrelser og gab for flydertyperne Kugle- og Keglehat omtrent er ens, forventes skyggevirkningen for en maskine med disse flydertyper at omtrent at være ens.

Tabel 14. Effekt for maskine med flydertyperen Kuglehat. Flydervægt 291t. Fuld skala værdier.

Søtilstand	$P_{\text{hel maskine}}$ [kW/flyder]	$P_{\text{1/2 maskine}}$ [kW/flyder]	$P_{\text{hel maskine}} / P_{\text{1/2 maskine}}$
UR II	21.3	31.4	0.68
UR III	61.8	75.8	0.82

Det bemærkes, at skyggevirkningerne for flydertyperne Kegle- og Kuglehat er væsentligt større end målt i de hidtil udførte forsøg f.eks. med Ø200 kugleflyderne. Dette skyldes det

snævre gab mellem flydertyperne Kegle- og Kuglehat, samt den generelt høje effektivitet af disse flydertyper ved optimal flydervægt.

8.2 Flydernes individuelle effektbidrag

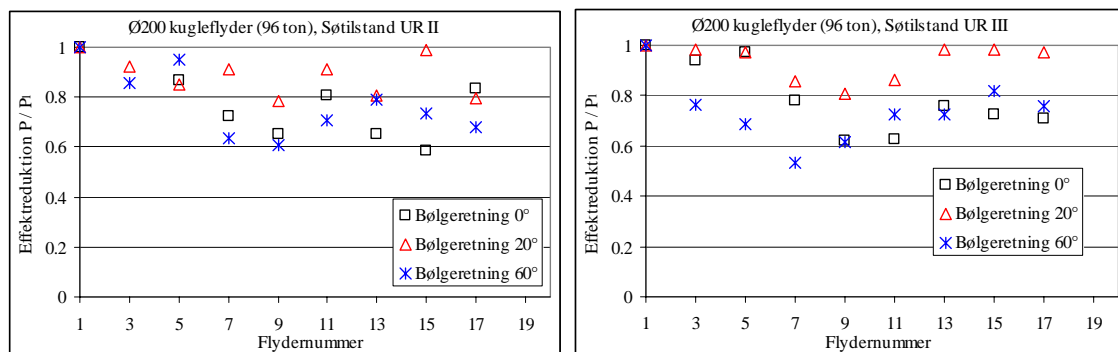
I hovedparten af forsøgene er det drivende moment forårsaget af bølgekræfterne på de enkelte flydere målt for hver anden flyder (flyder nummer 1, 3, 5, 7, 9, 11, 15 og 17). Dette moment er multipliceret med akslens rotationshastighed (ω_{aksel}), hvorved den enkelte flyders effektbidrag er beregnet. Således kan effektbidraget for flyder nr. 1 P_1 beregnes ud fra det målte moment M_1 som $P_1(t) = M_1(t) \cdot \omega_{aksel}(t)$. I det efterfølgende er de tidslige middelværdier for flydernes effektbidrag sammenlignet.

Da momentmålingerne er behæftet med meget støj, er der en del usikkerhed på de enkelte målinger. Justering af momentets nulpunkt har i flere af forsøgene været nødvendigt inden beregningen af effekten, da resultaterne er meget følsomme for den præcise placering af nulpunktet. Disse forhold bør tages i erindring når følgende figurer studeres. Resultatet af databehandlingen er gengivet i Appendiks D, hvor der yderligere er foretaget en overslagsmæssig beregning af anlæggets totale effektproduktion ud fra de enkelte effektbidrag. Denne overslagsmæssige værdi er sammenlignet med den målte totale effektproduktion. Det er herudfra fundet, at alle de overslagsmæssigt beregnede totale effektoutput afviger mindre end $\pm 25\%$ fra den totale effektproduktion, omend hovedparten af de overslagsmæssig beregnede effekter holder sig inden for $\pm 10\%$.

En ændret bølgeretning θ vil medføre følgende virkninger (se evt. kapitel 6):

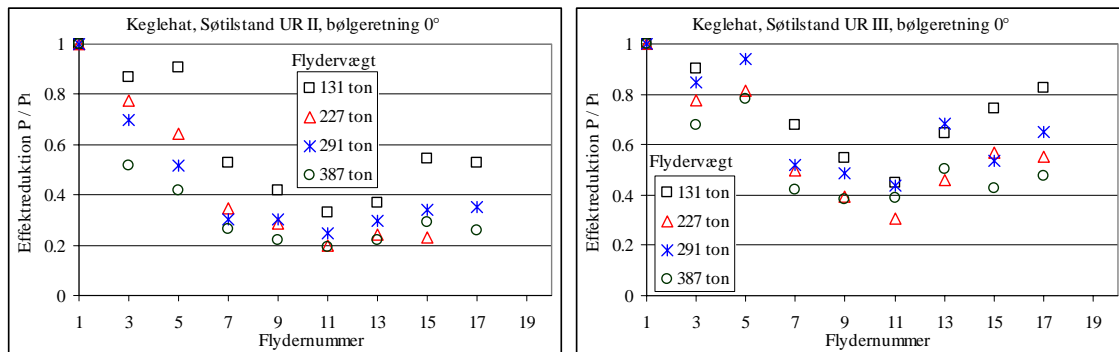
- $0^\circ < \theta \ll 90^\circ$ (små drejninger): Skyggevirkninger fra foranliggende flydere er generelt mindre end for $\theta = 0^\circ$.
- $0^\circ \ll \theta \leq 90^\circ$ (store drejninger): Skyggevirkninger fra foranliggende flydere er mindre, men de vandrette kræfter bidrager destruktivt til det drivende moment for flyderne i den forreste række (den række som måles på i forsøgene) og konstruktivt for flyderne i bagerste række.

På Figur 10 er skyggevirkningens afhængighed af bølgeretningen sammenlignet for en maskine med Ø200 kugleflydere. Heraf fremgår, at skyggevirkningerne generelt er mindre for $\theta = 20^\circ$ end for $\theta = 0^\circ$ (røde punkter ligger over sorte punkter). Punkterne for $\theta = 0^\circ$ og for $\theta = 60^\circ$ ligger generelt omtrent på samme niveau, hvilket forventes at skyldes dels mindre skyggevirkninger, dels at målingerne er foretaget på den forreste række flydere, hvorved de vandrette kræfter bidrager destruktivt til det drivende moment.



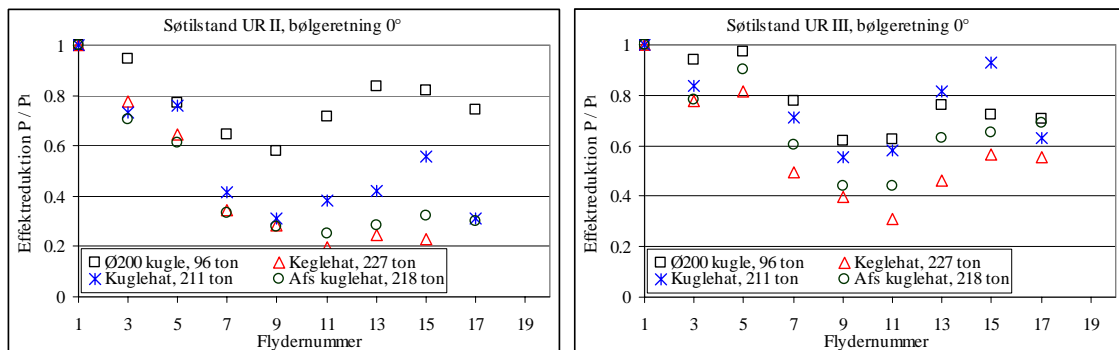
Figur 10. Skyggevirkning for maskine med Ø200 kugleflydere (gab = 0.5D) mht. bølgeretning.

I Figur 11 er skyggevirkningens afhængighed af flydervægten vist for en maskine med flydertypen keglehat. Det fremgår heraf ikke overraskende, at tynde flydere medfører større skyggevirkning (sorte firkantede punkter ligger generelt øverst, grønne cirkler nederst).



Figur 11. Skyggevirkning for maskine med flydertypen keglehat ($gab = 0.15D$) mht. flydervægt.

I Figur 12 er skyggevirkningen sammenlignet for en maskine med flydertyperne Ø200 kugleflyder, Keglehat, Kuglehat og Afskåret kuglehat. Tages usikkerheden på målingerne in mente vurderes, at skyggevirkningen for de store flydertyper Keglehat, Kuglehat og Afskåret kuglehat omtrent er ens. Skyggevirkningerne for maskinen med Ø200 kugleflyderen er generelt væsentligt mindre (de sorte punkter ligger generelt øverst) end for de øvrige flydertyper, især for Søtilstand II. Grunden til dette forventes hovedsageligt at være, at gabet for maskinen med store flydertyper er lille (gab på 0,15 flyderdiametre), mens gabet for maskinen med Ø200 kugleflydere er stort (gab på 0,5 flyderdiametre).



Figur 12. Skyggevirkning for maskine afhængigt af flydertypen.

Sammenlignes resultaterne for Søtilstand II (venstre del af Figur 10, 11 og 12) med resultaterne for Søtilstand III (højre del af Figur 10, 11 og 12) og tages usikkerheden på målingerne in mente vurderes, at Søtilstand III generelt (uanset flydertype, gab, bølgeretning og flydervægt) giver anledning til mindre skyggevirkninger end Søtilstand II. Dette er i overensstemmelse med forklaringen i indledningen om, at flyderne dels reflekterer mere energi i korte bølger, dels at maskinen er mere effektiv i korte bølger.

9 Mekanisk transmissionssystem for én flyder (Serie T)

Forsøgene med én flyder er i de tidligere kapitler anvendt som reference uden skyggevirkninger og til beskrivelse af de vandrette kræfters indvirkning på det drivende moment. Forsøgene med én flyder er udført for to forskellige mekaniske transmissionssystemer, hvilket beskrives i det følgende.

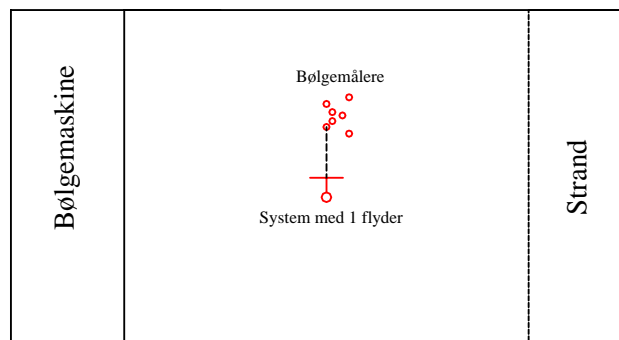
For en lang maskine med mange flydere bidrager de enkelte flydere hver især til akslens rotation. Jo længere maskinen er, des mindre er variationerne i akslens rotationshastighed. På trods af, at maskinen har 40 flydere opstår imidlertid væsentlige tidslige variationer i akslens rotationshastighed og dermed effektoutput (se f.eks. Kramer, 2005; Kramer og Andersen, 2005). Grænserne for, hvordan det mekaniske transmissionssystem for hele maskinen virker, kan skildres ved følgende transmissionssystemer med én flyder:

Kort maskine: Akslen påvirkes af en konstant belastning, omdrejningshastigheden er variabel (når en bølge passerer, opnår akslen en vis rotation)

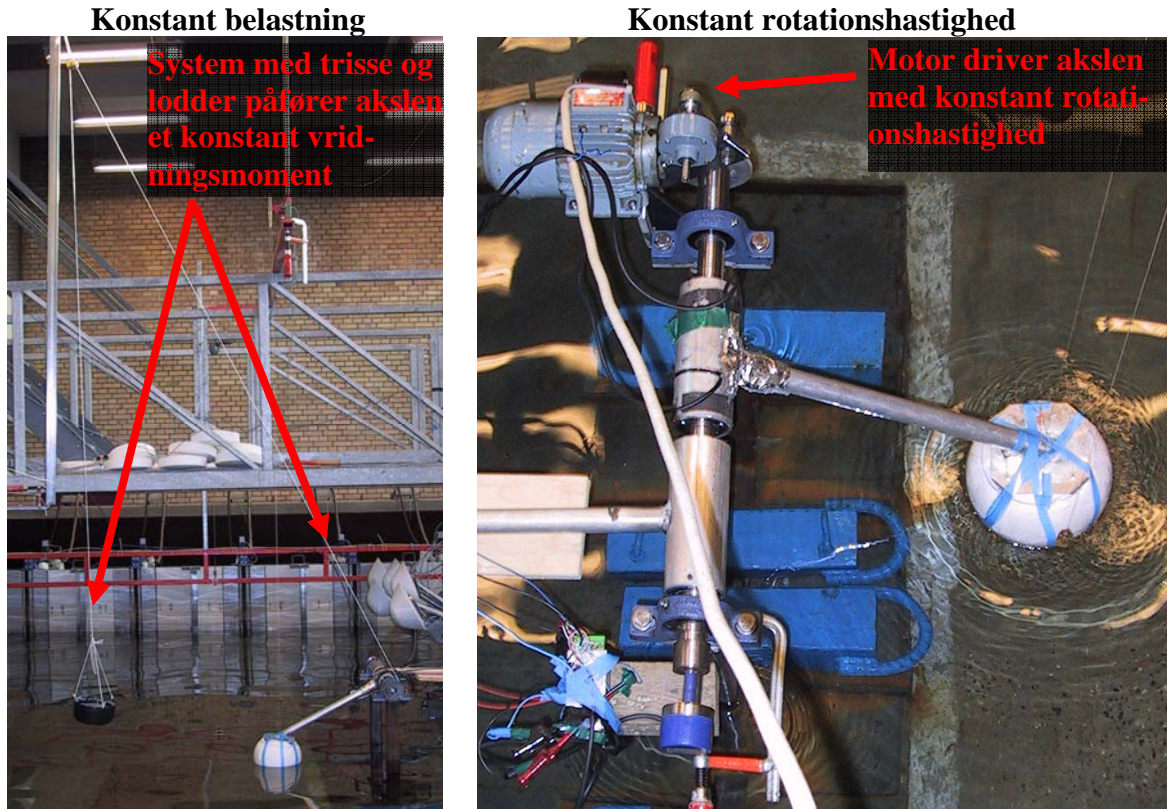
Lang maskine: Akslen påvirkes af en konstant omdrejningshastighed, belastningen er variabel (stor nedtrykning af flyderen medfører stor belastning)

Det er i den forbindelse særdeles interessant, at kunne vurdere de to transmissionssystemers effektivitet. Med andre ord, hvilket system giver det største effektoutput?

Placeringen i bølgebassinet af systemet med én flyder fremgår af Figur 13, og opsætningen af de to transmissionssystemer fremgår af Figur 14. Alle forsøg er udført med en Ø200 kugleflyder med en total flydervægt på 1,4 kg (modelskala). Forsøgene er fortrinsvis udført med regelmæssige bølger med henblik på fremtidig sammenligning med numeriske beregninger. Detaljer vedr. forsøgene fremgår af Appendiks A.2.

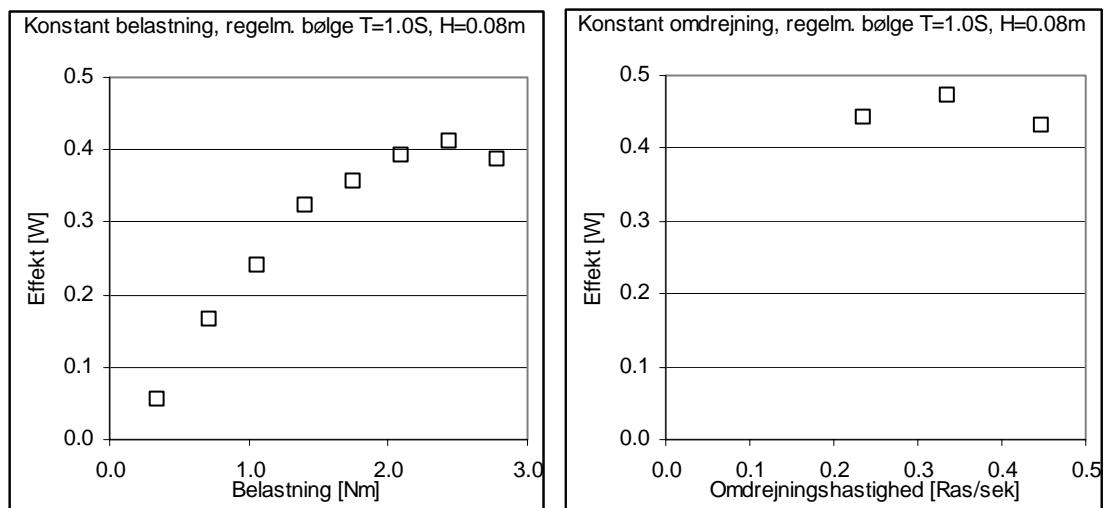


Figur 13. Flyderplacering for system med én flyder.



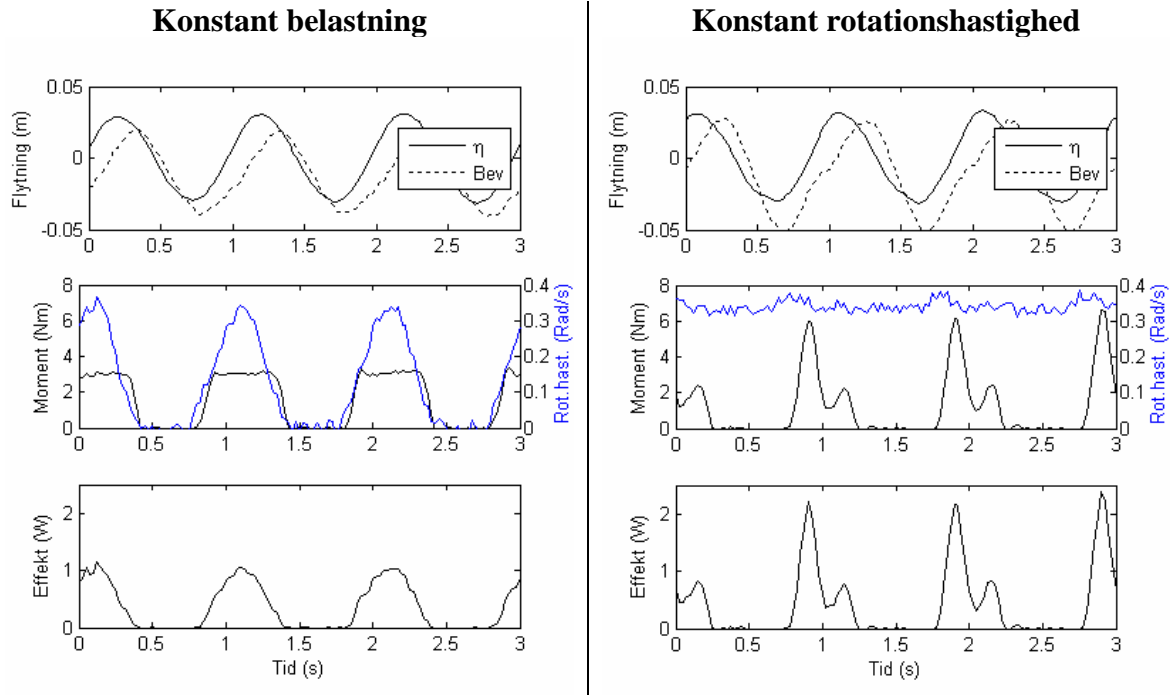
Figur 14. Forsøgsopstilling i forsøg med én flyder.

Lige som for det mekaniske transmissionssystem for maskinen med 40 flydere har de to mekaniske systemer med én flyder en optimal indstilling, hvor effektoutputtet fra flyderne er optimalt, se eksemplet Figur 15. I eksemplet er effekttoppunktet $P_{belast} = 0,41$ W for systemet med konstant belastning og $P_{rot} = 0,47$ W for systemet med konstant rotationshastighed, dvs. systemet med konstant rotationshastighed er mest effektivt.



Figur 15. Eksempel på effektkurver for de to transmissionssystemer. Værdier i modelskala.

For den optimale indstilling, svarende til toppunkterne på effektkurverne, er virkningen af de to transmissionssystemer vist i detaljer på Figur 16. Det er bemærkelsesværdigt, at der for systemet med konstant rotationshastighed opstår sekundære toppe i momentkurven. For systemet med konstant belastning opstår disse toppe ikke.



Figur 16. Detaljer svarende til toppunkterne for effektkurverne i eksemplet vist på Figur 15.

I Tabel 15 er effekttoppunkterne for de to transmissionssystemer sammenlignet for forskellige bølgetilstande. Det fremgår, at systemet med konstant rotationshastighed er bedst uanset bølgetilstanden ($P_{rot} / P_{belast} > 1$).

Tabel 15. Sammenligning af effektoutput for de to transmissionssystemer.

Bølge	P_{rot} / P_{belast}
R, T=0.8s, H=0.04m	1.20
R, T=0.8s, H=0.08m	1.07
R, T=1.0s, H=0.04m	1.22
R, T=1.0s, H=0.08m	1.14
R, T=1.2s, H=0.04m	1.12
R, T=1.2s, H=0.08m	1.12
UR, Hs=0.05m, Tp=1.107	1.26

Konklusionen på virkningsgraden af de to transmissionssystemer med én flyder kan overføres til virkningen af det mekaniske transmissionssystem for maskinen med mange flydere. Således har et øget antal flydere, dvs. et system med mere konstant rotationshastighed, en gavnlig virkning på transmissionssystemets effektivitet.

Eksemplet angivet i Figur 16 viser, at sekundære toppe i momentkurven opstår pga. den roterende aksel. For forsøgene med hele maskinen er det tidligere observeret, at sådanne sekundære toppe ligeledes optræder i momentkurverne for maskinen med mange flydere, se f.eks. Kramer og Andersen (2005).

10 Konklusion

I perioden mellem 13/9 2004 og 11/3 2005 er der udført mere end 1200 laboratorieforsøg (hvoraf der i 1186 af forsøgene er optaget data) i forbindelse med afprøvning af skala 1:40 modellen af Wave Star. Forsøgsperioden har været opdelt i 3 perioder. Første del af perioden er rapporteret af Kramer og Frigaard (2004) og væsentlige delkonklusioner udarbejdet efterfølgende er beskrevet af Kramer *et al.* (2004c). Forsøgene fra anden del af perioden er beskrevet af Kramer og Andersen (2005) og omfatter hovedkonklusionerne for hele forsøgsperiode 1 og 2. Nærværende konklusion omfatter udelukkende konklusioner fra 3. periode.

Gennem forsøgsresultaterne og konstruktionsmæssige betragtninger er det valgt, at anvende flydertypen "Afskåret kuglehat" som flydertype for den forestående skala 1:10 maskine til afprøvning i Nissum Bredning. Flydertypen har udover det gunstige effektoutput, bla. vist sig velegnet til at modstå vandstandsvariationer. Nærværende forsøg viser, at for bølgeretning 0° (bølger lige ind mod maskinen, størst skyggevirksomhed) kan maskinen med 40 stk. flydere (flydertype Afskåret kuglehat med en flydervægt på 218 ton) yde følgende gennemsnits værdier for effektoutputtet:

Søtilstand II: 22 kW pr. flyder
Søtilstand III: 58 kW pr. flyder
Årsmiddel: 23 kW pr. flyder

Jo mere effektiv maskinen er, des mere energi vil de forreste flydere trække ud af bølgen, hvorved der er mindre energi til rådighed for de bagerste flydere. Med andre ord vil en mere effektiv maskine generere større skyggevirksomheder. I korte bølger er skyggevirksomheden størst, hvilket skyldes to forhold; dels at flyderne reflekterer mere energi i korte bølger, dels at maskinen er mere effektiv i korte bølger. Skyggevirksomheden er størst for bølgeretningen 0°, da bagvedliggende flyderne ligger i fuldstændig læ af foranliggende flydere. Hele maskinens skyggevirksomhed på bølgerne er undersøgt vha. bølgemålinger foran og bag maskinen for maskine drejet 60° (Appendiks B). Resultaterne viser, at maskinen har en stor skyggevirksomhed på korte bølger og en lille skyggevirksomhed på lange bølger. Således viser analysen, at den signifikante bølgehøjde reduceres til 53 % bag maskinen i korte bølger (Søtilstand I) og 97 % i meget lange bølger (Søtilstand V).

Generelt producerer maskinen i fuld længde (40 flydere) højere effekt for drejningen på 60°. Effektforøgelsen afhænger af bølgeklimaet, således er effektforøgelsen omkring 30-40% for korte bølger (Søtilstand I – II), men omtrent uændret i lange bølger (Søtilstand IV- V). Forsøgene viser, at konklusionerne vedr. orienteringen af maskinen gælder uanset om flyderne har kugle- eller kegleformet geometri. Forsøgene med en drejning af maskinen på 60° viser imidlertid, at opførslen af maskinen ændres væsentligt når maskinen drejes. Dette skyldes dels ændringer i skyggevirksomheder, dels det faktum at de vandrette bølgekræfter bidrager (konstruktivt eller destruktivt) til det drivende moment. De vandrette bølgekræfter er generelt destruktive for det drivende moment fra flyderne i den forreste række som vender mod bølgerne og konstruktive for momentet fra flyderne i den bagerste række. De vandrette kræfter giver anledninger til ændringer (forøgelser og/eller reduktioner) i effektproduktionen på mindst 10-20% for rejningen på 60°.

Forsøgene med et snævert gab (gab på 0.15 gange flyderdiameteren) viser, at gabets størrelse er af stor betydning når maskinen drejes. Er gabet stort opnås væsentligt højere

effektoutput (minimum 40%), hvilket skyldes minimeringen af skyggevirkningerne fra de foranliggende flydere.

Forsøgene med Ø200 kugleflyderen (gab på 0.5 flyderdiameter) under bølgeretning 0° viser, at effektoutputtet pr. flyder for en halv maskine er ca. 70-75% af effektoutputtet fra en maskine med én flyder, samt at effektoutputtet pr. flyder for en hel maskine er 90% af effektoutputtet pr. flyder for en halv maskine. Skyggevirkningen for denne flydertype er således meget begrænset, hvilket skyldes de store gab samt det generelt lave totale effektoutput. For de væsentligt større og tungere flydere af typerne Keglehat og Kuglehat (gab på 0.15 flyderdiameter) er skyggevirkningerne væsentligt større. For disse flydertyper er effektoutputtet pr. flyder for en hel maskine 70-80% af effektoutputtet pr. flyder for en halv maskine. Analysen af flydernes individuelle effektbidrag understøtter disse målinger. Denne analyse viser, at ydelsen af flyderne i den bagerste del af maskinen omtrent er 70 % af ydelsen af den forreste flyder for maskinen med Ø200 kugleflydere, mens ydelsen af de store kugle- eller kegleformede flydere i den bagerste del af maskinen kun er omtrent 30 % i korte bølger (Søtilstand II) og 50 % i længere bølger (Søtilstand III).

Forholdsvis tunge flydere arbejder bedre pga. bedre vandkontakt og større flydervandring. Forsøgene viser, at optimal effektivitet opnås, såfremt flydervægten vælges således flyderens egensvingningsperiode er 0.7 til 0.8 gange middelbølgeperioden. Den optimale flydervægt for flydertypen Afskåret kuglehat er 250 – 300 ton (fuldskala) svarende til en fortrængning på 55 – 65 %.

Det er vist, at sekundære toppe i momentkurven opstår for transmissionssystemet med den roterende aksel. Den præcise grund til dette fænomen er ikke klarlagt til fulde, men toppene forventes udelukkende at være et problem for denne type transmissionssystem.

Optimering af maskinen til skråt-indkomne bølger

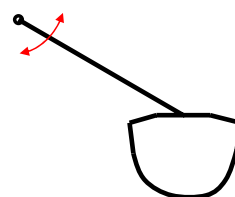
Forsøgene viser, at såfremt bølgerne kommer ind under en stor vinkel kan maskinens effektoutput øges, såfremt skyggevirkningerne fra den forreste række flydere på den bagerste række flydere mindskes. Følgende muligheder for begrænsning af denne skyggevirkning tænkes mulige gennem:

- formindskelse af flydervægten og dermed dybgangen på de forreste flydere
- mindskelse af momentbelastningen af de forreste flydere, hvorved flyderne følger vandoverfladen mere og derved nedtrykkes knapt så meget under drift

Ydelsen af de forreste flydere vil herved reduceres, men da ydelsen af de bagvedliggende flydere forventes at øges mere end denne reduktion, forventes det totale output øget.

Numerisk model

For at tage højde for virkningen af bølgeretningen, og dermed de vandrette kræfters indvirkning på det drivende moment, skal en numerisk model opstilles for den korrekte frihedsgrad af flyderen (rotation omkring lejet og tilhørende drivende moment), se skitsen til højre.



11 Referencer

Bølgekraftudvalgets Sekretariat (2000). *Bølgekraftprogram 2000*.

Kramer, M. (2005). *Effektvariation i bølger og output fra Wave Star*. Power Point præsentation i forbindelse med møde på Aalborg Universitet 2. februar 2005. Tilgængelig via www.civil.aau.dk/~i5mkr/ws

Kramer, M., Andersen, T.L (2005). *Wave Star – Skala 1:40 modelforsøg, forsøgsrapport 2*. Hydraulics and Coastal Engineering No. 14. ISSN: 1603-9874. Aalborg University, Department of Civil Engineering.

Kramer, M., Frigaard, P (2004). *Wave Star – Skala 1:40 modelforsøg, forsøgsrapport 1*. Hydraulics and Coastal Engineering No. 10. ISSN: 1603-9874. Aalborg University, Department of Civil Engineering.

Kramer, M., Brorsen, M., Frigaard, P (2004a). *Wave Star – Indledende undersøgelse af flydergeometri*. Hydraulics and Coastal Engineering No. 4. ISSN: 1603-9874. Aalborg University, Department of Civil Engineering.

Kramer, M., Brorsen, M., Frigaard, P (2004b). *Wave Star – Hydrodynamisk interaktion mellem 5 flydere*. Hydraulics and Coastal Engineering No. 7. ISSN: 1603-9874. Aalborg University, Department of Civil Engineering.

Kramer, M., Frigaard, P., Brorsen, M (2004c). *Wave Star – Foreløbige hovedkonklusioner på skala 1:40 modelforsøg*. Hydraulics and Coastal Engineering No. 12. ISSN: 1603-9874. Aalborg University, Department of Civil Engineering.

Appendiks A. Liste over udførte forsøg

Alle værdier i tabellerne er i modelskala. Såfremt andet ikke er angivet var vanddybden i bassinet 0,485 m. Angivne vægte på flydere inkluderer generelt ikke belastningen fra egenvægten af flyderarmen, for detaljer herom se Kramer og Andersen (2005).

Tabel 16. Forklaring til parametre anvendt i efterfølgende tabeller.

Parameter	Forklaring
Test:	Testnummer, angives i filnavnet for filer med rådata
Bølgetype:	<i>R</i> for regelmæssige bølger, <i>UR</i> for uregelmæssige bølger
Belast.:	Belastning (gennemsnit) målt på aksel plus friktion. Hvis den målte belastning er nul og friktionen er 7.5Nm er Belast. = 7.5 Nm.
Omd.	Omdrejningshastigheden (gennemsnit) af akslen

Appendiks A.1 Serie S: 60° bølger

Testserien omhandler virkning af skråt indkomne bølger under en vinkel på 60°. I tabellen angiver '2r' at to rækker flydere er i drift, '1r, for' at kun flydere på den forreste række er i drift, og '1r, bag' at kun flydere på den bagerste række er i drift.

Tabel 17. Tests i serie S.

Test	Opsætning af maskine	Bølge	Belast. [Nm]	Omd. [Rad/s]	Effekt [W]
536	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR I	6.13	0.094	0.57
537	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR I	4.75	0.123	0.59
538	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR I	7.50	0.072	0.54
539	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR II	7.78	0.225	1.76
540	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR II	12.75	0.167	2.15
541	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR II	14.84	0.153	2.29
542	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR II	18.49	0.123	2.32
542b	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR II	21.25	0.110	2.37
542c	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR II	24.03	0.100	2.44
542d	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR II	32.65	0.066	2.21
543	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR III	24.80	0.186	4.67
544	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR III	36.15	0.133	4.93
545	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR III	42.73	0.117	5.12
546	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR III	50.23	0.093	4.83
547	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR IV	51.59	0.137	7.25
548	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR IV	67.52	0.105	7.29
549	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR IV	86.17	0.076	6.77
550	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR V	74.36	0.122	9.18
551	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR V	91.91	0.102	9.53
552	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	R II	39.57	0.156	6.17
553	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	R II	44.01	0.136	5.97
554	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	R II	48.47	0.114	5.51
555	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	R II	35.25	0.176	6.20
556	2r, 40 stk. Ø200 1,3kg kugler	R II	29.10	0.206	5.99
557	1r, bag, 20 stk. Ø200 1,3kg kugler	R II	17.45	0.207	3.62
558	1r, bag, 20 stk. Ø200 1,3kg kugler	R II	20.55	0.192	3.95
559	1r, bag, 20 stk. Ø200 1,3kg kugler	R II	24.06	0.175	4.23
560	1r, bag, 20 stk. Ø200 1,3kg kugler	R II	27.86	0.149	4.15

Tabel 17, fortsat. Tests i serie S.

Test	Opsætning af maskine	Bølge	Belast. [Nm]	Omd. [Rad/s]	Effekt [W]
561	1r, bag, 20 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR II	14.02	0.148	2.09
562	1r, bag, 20 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR II	15.89	0.126	2.05
563	1r, bag, 20 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR II	8.40	0.218	1.83
564	2r, 20 stk. 1,575kg, tyskerhat	UR II	8.41	0.144	1.21
565	2r, 20 stk. 1,575kg, tyskerhat	UR II	12.15	0.104	1.28
566	2r, 20 stk. 1,575kg, tyskerhat	UR II	14.94	0.083	1.26
567	2r, 20 stk. 1,575kg, tyskerhat	UR III	12.19	0.185	2.29
568	2r, 20 stk. 1,575kg, tyskerhat	UR III	14.76	0.157	2.35
569	2r, 20 stk. 1,575kg, tyskerhat	UR III	18.22	0.136	2.53
570	2r, 20 stk. 1,575kg, tyskerhat	UR III	20.91	0.118	2.53
571	2r, 20 stk. 1,575kg, tyskerhat	UR I	7.50	0.032	0.24
572	2r, 20 stk. 1,575kg, tyskerhat	UR I	6.13	0.047	0.29
573	2r, 20 stk. 1,575kg, tyskerhat	UR I	4.06	0.089	0.36
574	2r, 20 stk. 1,075kg, tyskerhat	UR II	8.54	0.139	1.19
575	2r, 20 stk. 1,075kg, tyskerhat	UR II	11.85	0.099	1.20
576	2r, 20 stk. 1,075kg, tyskerhat	UR II	14.34	0.081	1.19
577	2r, 20 stk. 1,075kg, tyskerhat	UR III	14.61	0.150	2.22
578	2r, 20 stk. 1,075kg, tyskerhat	UR III	18.16	0.132	2.44
579	2r, 20 stk. 1,075kg, tyskerhat	UR III	20.71	0.110	2.33
580	2r, 20 stk. 1,075kg, tyskerhat	UR I	4.06	0.087	0.35
581	2r, 20 stk. 1,075kg, tyskerhat	UR IV	23.68	0.139	3.35
582	2r, 20 stk. 1,075kg, tyskerhat	UR IV	40.38	0.083	3.47
583	2r, 20 stk. 1,075kg, tyskerhat	UR IV	54.44	0.063	3.49
584	2r, 20 stk. 1,075kg, tyskerhat	UR V	35.25	0.132	4.79
585	2r, 20 stk. 1,075kg, tyskerhat	UR V	51.45	0.097	5.10
586	2r, 20 stk. 1,075kg, tyskerhat	UR V	70.96	0.071	5.20
587	Ingen (kun bølgeomåling)	UR I	-	-	-
588	Ingen (kun bølgeomåling)	UR II	-	-	-
589	Ingen (kun bølgeomåling)	UR III	-	-	-
590	Ingen (kun bølgeomåling)	UR IV	-	-	-
591	Ingen (kun bølgeomåling)	UR V	-	-	-
592	Ingen (kun bølgeomåling)	R I	-	-	-
593	Ingen (kun bølgeomåling)	R II	-	-	-
594	Ingen (kun bølgeomåling)	R III	-	-	-
595	Ingen (kun bølgeomåling)	R IV	-	-	-
596	Ingen (kun bølgeomåling)	R V	-	-	-
597	1r, for, 20 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR II	9.92	0.125	1.22
598	1r, for, 20 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR II	13.65	0.087	1.20
599	1r, for, 20 stk. Ø200 1,3kg kugler	UR II	15.69	0.064	1.04
600	1r, for, 20 stk. Ø200 1,3kg kugler	R II	15.83	0.171	2.72
601	1r, for, 20 stk. Ø200 1,3kg kugler	R II	18.92	0.156	2.95
602	1r, for, 20 stk. Ø200 1,3kg kugler	R II	23.15	0.134	3.12
603	1r, for, 20 stk. Ø200 1,3kg kugler	R II	25.75	0.118	3.05
604	2r, 20 stk. midt, 1,3kg Ø200 kugler	UR II	13.58	0.084	1.16
605	2r, 20 stk. midt, 1,3kg Ø200 kugler	UR II	15.32	0.074	1.16
606	2r, 20 stk. midt, 1,3kg Ø200 kugler	UR II	18.37	0.056	1.06
607	2r, 20 stk. midt, 1,3kg Ø200 kugler	UR II	8.14	0.141	1.16
608	2r, 20 stk. midt, 1,3kg Ø200 kugler	UR III	16.19	0.141	2.32
609	2r, 20 stk. midt, 1,3kg Ø200 kugler	UR III	18.05	0.121	2.26
610	2r, 20 stk. midt, 1,3kg Ø200 kugler	UR III	13.10	0.162	2.15

Tabel 17, fortsat. Tests i serie S.

Test	Opsætning af maskine	Bølge	Belast. [Nm]	Omd. [Rad/s]	Effekt [W]
611	2r, 20 stk. midt, 1,3kg Ø200 kugler	R II	19.62	0.179	3.51
612	2r, 20 stk. midt, 1,3kg Ø200 kugler	R II	13.57	0.236	3.21
613	2r, 20 stk. midt, 1,3kg Ø200 kugler	R II	15.52	0.207	3.22
614	2r, 20 stk. midt, 1,3kg Ø200 kugler	R II	22.04	0.141	3.12
615	2r, 20 stk. midt, 1,3kg Ø200 kugler	R II	25.06	0.122	3.05
616	2r midt, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R II	13.12	0.171	2.26
617	2r midt, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R II	14.23	0.151	2.17
618	2r midt, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R II	17.05	0.095	1.63
619	2r midt, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R II	8.67	0.252	2.18
620	2r midt, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R III	17.77	0.153	2.71
621	2r midt, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R III	20.95	0.120	2.51
622	2r midt, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R III	14.35	0.169	2.41
623	2r midt, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR III	13.91	0.103	1.48
624	2r midt, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR III	12.48	0.118	1.51
625	2r midt, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR III	8.55	0.171	1.45
626	1r, for, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R II	8.74	0.169	1.48
626b	1r, for, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R II	11.78	0.132	1.56
626c	1r, for, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R II	15.18	0.103	1.57
626d	1r, for, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R II	17.64	0.087	1.55
627	1r, for, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR III	8.35	0.124	1.05
628	1r, for, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR III	12.72	0.086	1.09
629	1r, for, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR III	13.67	0.075	1.04
630	1r, for, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R III	17.33	0.109	1.84
631	1r, for, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R III	20.63	0.094	1.89
632	1r, for, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R III	23.99	0.078	1.80
633	1r, bag, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R II	8.28	0.239	1.99
633b	1r, bag, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R II	14.52	0.153	2.23
633c	1r, bag, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R II	19.77	0.106	2.07
633d	1r, bag, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R II	16.87	0.139	2.34
634	1r, bag, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR III	8.22	0.214	1.77
635	1r, bag, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR III	12.10	0.162	1.99
636	1r, bag, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR III	13.52	0.148	2.06
637	1r, bag, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR III	16.37	0.122	2.02
638	1r, bag, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R III	16.91	0.183	2.96
639	1r, bag, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R III	20.16	0.166	3.18
640	1r, bag, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R III	23.24	0.156	3.47
641	1r, bag, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R III	28.00	0.141	3.80
642	1r, bag, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R III	32.57	0.128	4.05
643	1r, bag, G=50mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R III	38.05	0.108	3.97
644	1r, bag, G=350mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR III	8.24	0.314	2.65
645	1r, bag, G=350mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR III	13.01	0.225	2.99
646	1r, bag, G=350mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR III	15.75	0.188	3.00
647	1r, bag, G=350mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR III	18.08	0.163	3.05
648	1r, bag, G=350mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR III	19.99	0.145	3.03
649	1r, bag, G=350mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R II	15.43	0.259	4.02
650	1r, bag, G=350mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R II	19.18	0.201	3.87
651	1r, bag, G=350mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R II	20.79	0.177	3.70
652	1r, bag, G=350mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R II	14.19	0.277	3.94
653	1r, bag, G=350mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R III	24.92	0.214	5.36
654	1r, bag, G=350mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R III	30.20	0.188	5.74
655	1r, bag, G=350mm, 10 stk. 3.0kg Ø250 kugler	R III	33.43	0.162	5.49

Tabel 17, fortsat. Tests i serie S.

Test	Opsætning af maskine	Bølge	Belast. [Nm]	Omd. [Rad/s]	Effekt [W]
656	2r midt, G=50mm, 20 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR II	14.57	0.094	1.38
657	2r midt, G=50mm, 20 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR II	15.95	0.083	1.34
658	2r midt, G=50mm, 20 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR II	11.82	0.117	1.39
659	2r midt, G=50mm, 20 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR III	8.10	0.255	2.10
660	2r midt, G=50mm, 20 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR III	22.19	0.128	2.91
661	2r midt, G=50mm, 20 stk. 3.0kg Ø250 kugler	UR III	30.29	0.091	2.87
662	2r midt, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	UR II	11.40	0.110	1.27
663	2r midt, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	UR II	8.37	0.158	1.32
665	2r midt, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	UR III	12.02	0.192	2.31
666	2r midt, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	UR III	13.72	0.172	2.40
667	2r midt, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	UR III	16.72	0.143	2.46
668	2r midt, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	UR III	23.57	0.098	2.35
669	2r midt, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	R II	8.26	0.350	2.90
670	2r midt, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	R II	12.97	0.275	3.57
671	2r midt, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	R II	14.93	0.253	3.79
672	2r midt, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	R II	17.23	0.223	3.85
673	2r midt, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	R II	19.86	0.184	3.66
674	1r, bag, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	UR II	8.20	0.246	2.03
675	1r, bag, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	UR II	13.29	0.169	2.27
676	1r, bag, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	UR II	16.07	0.136	2.23
677	1r, bag, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	R II	19.75	0.231	4.57
678	1r, bag, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	R II	21.27	0.215	4.59
679	1r, bag, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	R II	25.24	0.185	4.68
680	1r, bag, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	R II	30.32	0.147	4.47
681	1r, for, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	UR II	8.19	0.162	1.33
682	1r, for, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	UR II	12.47	0.100	1.27
683	1r, for, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	R II	17.76	0.186	3.32
684	1r, for, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	R II	21.03	0.165	3.47
685	1r, for, 20 stk. 1.3kg kegle 1 (stor)	R II	23.62	0.141	3.36

Appendiks A.2 Serie T: Én flyder

Testserien omhandler tests med én Ø200 kugleflyder. Flydervægt 1,25kg.

Middeleffekten er beregnet ud fra middelværdien af det målte moment multipliceret med den målte omdrejningshastighed. I forsøgene med ”konstant belastning” varierede belastningen en smule, hvorfor middeleffekten afviger fra middelbelastningen multipliceret med middeldomdrejningshastigheden. I forsøgene med ”konstant omdrejningshastighed” varierede omdrejningshastigheden en smule, hvorfor middeleffekten i disse forsøg ligeledes afviger fra middelbelastningen multipliceret med middeldomdrejningshastigheden.

Tabel 18. Tests i serie T for transmissionssystemet med konstant belastning.

Test	Bølge	Belast. [Nm]	Omd. [Rad/s]	Effekt [W]
686	R, T=0.8s, H=0.04m	0.344	0.165	0.036
686b		0.718	0.103	0.067
686c		1.062	0.066	0.070
687	R, T=0.8s, H=0.08m	0.344	0.283	0.061
687b		0.718	0.259	0.174
687c		1.062	0.207	0.229
688	R, T=1.0s, H=0.04m	0.344	0.125	0.026
688b		0.718	0.108	0.075
688c		1.062	0.089	0.098
688d		1.406	0.072	0.111
688e		1.749	0.038	0.069
689	R, T=1.0s, H=0.08m	0.344	0.247	0.054
689b		0.718	0.232	0.165
689c		1.062	0.216	0.240
689d		1.406	0.204	0.322
689e		1.749	0.184	0.357
689f		2.093	0.166	0.392
689g		2.437	0.147	0.412
689h		2.781	0.122	0.387
690	R, T=1.2s, H=0.04m	0.344	0.090	0.021
690b		0.718	0.082	0.057
690c		1.062	0.075	0.085
690d		1.406	0.066	0.100
690e		1.749	0.054	0.104
691	R, T=1.2s, H=0.08m	0.344	0.183	0.042
691b		0.718	0.173	0.126
691c		1.062	0.176	0.200
691d		1.406	0.163	0.257
691e		1.749	0.157	0.310
691f		2.093	0.149	0.363
691g		2.437	0.139	0.399
691h		2.781	0.130	0.426
691i		3.124	0.113	0.423
692	R, T=2s, H=0.04m	0.344	0.048	0.010
692b		0.718	0.043	0.031
692c		1.062	0.041	0.047
692d		1.406	0.039	0.059
692e		1.749	0.039	0.074
692f		2.093	0.028	0.069
692g		2.437	0.028	0.078

Tabel 18, fortsat. Tests i serie T for transmissionssystemet med konstant belastning.

Forsøg	Bølge	Belast. [Nm]	Omd. [Rad/s]	Effekt [W]
693	R, T=2s, H=0.08m	0.344	0.091	0.019
693b		0.718	0.088	0.065
693c		1.062	0.088	0.105
693d		1.406	0.084	0.136
693e		1.749	0.084	0.171
693f		2.093	0.078	0.188
693g		2.437	0.080	0.232
693h		2.781	0.083	0.270
693i		3.124	0.077	0.294
693j		3.468	0.078	0.333
693k		3.983	0.067	0.333
693l		4.499	0.062	0.341
693m		5.015	0.048	0.288
694	UR, Hs=0.05m, Tp=1.107	0.344	0.098	0.019
694b		0.718	0.058	0.040
694c		1.062	0.043	0.047
694d		0.890	0.050	0.045

Tabel 19. Tests i serie T for fastholdt flyder.

Test	Bølge	H [m]	F _{L, max} [N]	F _{L, min} [N]	F _{V, max} [N]	F _{V, min} [N]
695	R, T=0.8s, H=0.04m	0.0286	2.93	-2.77	2.52	-2.54
696	R, T=0.8s, H=0.08m	0.0579	4.56	-5.35	5.06	-4.63
697	R, T=1.0s, H=0.04m	0.0318	4.19	-4.50	1.74	-2.12
698	R, T=1.0s, H=0.08m	0.0633	6.86	-8.65	3.86	-4.43
699	R, T=1.2s, H=0.04m	0.0297	4.15	-5.52	1.48	-1.79
700	R, T=1.2s, H=0.08m	0.0576	8.43	-10.24	3.50	-4.40
701	R, T=2s, H=0.04m	0.0394	4.23	-6.51	0.65	-0.77
702	R, T=2s, H=0.08m	0.0804	10.53	-11.24	1.19	-1.66
703	UR, Hs=0.05m, Tp=1.107	Hs=0.0355	-	-	-	-

Tabel 20. Tests i serie T for transmissionssystemet med konstant omdrejningshastighed.

Test	θ [°]	Bølge	Omd. [Rad/s]	M [Nm]	Effekt [W]
704	0°	R, T=0.8s, H=0.04m	0.007	1.17	0.008
704b			0.094	0.57	0.060
704c			0.168	0.48	0.084
704d			0.288	0.26	0.075
704e			0.492	0.05	0.026
705	0°	R, T=0.8s, H=0.08m	0.198	0.94	0.195
705b			0.296	0.79	0.242
705c			0.396	0.60	0.244
705d			0.499	0.45	0.226
706	0°	R, T=1.0s, H=0.04m	0.134	0.90	0.128
706b			0.225	0.57	0.135
706c			0.332	0.19	0.065
707	0°	R, T=1.0s, H=0.08m	0.337	1.36	0.472
707b			0.448	0.95	0.432
707c			0.237	1.78	0.441
708	0°	R, T=1.2s, H=0.04m	0.101	1.04	0.117
708b			0.221	0.10	0.022
708c			0.162	0.62	0.106
708d			0.088	1.12	0.113

Tabel 20, fortsat. Tests i serie T for transmissionssystemet med konstant omdrejningshastighed.

Test	θ [°]	Bølge	Omd. [Rad/s]	M [Nm]	Effekt [W]
709	0°	R, T=1.2s, H=0.08m	0.236	1.92	0.477
709b			0.334	0.88	0.303
709c			0.441	0.10	0.043
709d			0.131	2.40	0.338
710	0°	R, T=2s, H=0.04m	0.073	0.34	0.026
710b			0.115	0.04	0.005
711	0°	R, T=2s, H=0.08m	0.089	2.44	0.241
711b			0.119	1.19	0.157
711c			0.166	0.24	0.042
712	0°	UR, Hs=0.05m, Tp=1.107	0.109	0.48	0.059
712b			0.153	0.34	0.056
712c			0.070	0.63	0.053
713	0°	UR, Hs=0.075m, Tp=1.107	0.079	1.06	0.098
713b			0.117	0.92	0.121
713c			0.171	0.70	0.129
713d			0.220	0.52	0.121
714	+90°	R, T=0.8s, H=0.04m	0.117	0.78	0.100
714b			0.236	0.59	0.145
714c			0.329	0.53	0.178
714d			0.448	0.38	0.170
715	+90°	R, T=0.8s, H=0.08m	0.341	1.32	0.455
715b			0.443	1.19	0.532
715c			0.553	1.02	0.570
715d			0.673	0.87	0.584
715e			0.779	0.76	0.592
715f			0.895	0.60	0.536
716	+90°	R, T=1.0s, H=0.08m	0.443	1.24	0.557
716b			0.557	0.92	0.517
716c			0.665	0.52	0.351
716d			0.334	1.52	0.514
717	+90°	R, T=1.2s, H=0.08m	0.227	1.59	0.371
717b			0.335	0.89	0.304
717c			0.109	2.36	0.284
717d			0.268	1.44	0.400
717e			0.223	1.70	0.400
718	+90°	UR, Hs=0.075m, Tp=1.107	0.108	0.96	0.114
718b			0.162	0.78	0.135
718c			0.220	0.60	0.139
718d			0.261	0.49	0.134
719	-90°	R, T=0.8s, H=0.08m	0.082	1.08	0.102
719b			0.191	0.82	0.167
719c			0.296	0.68	0.206
719d			0.388	0.41	0.160
720	-90°	R, T=1.0s, H=0.08m	0.190	1.63	0.329
720b			0.289	1.23	0.367
720c			0.393	0.76	0.303
721	-90°	R, T=1.2s, H=0.08m	0.088	2.45	0.247
721b			0.184	1.90	0.377
721c			0.290	0.72	0.218
722	-90°	UR, Hs=0.075m, Tp=1.107	0.075	0.99	0.090
722b			0.119	0.78	0.106
722c			0.182	0.52	0.102

Appendiks A.3 Serie U: Tyskerhat

Testserien omhandler tests med flydertypen tyskerhat. Tests med 20 stk. flydere på 2 rækker, bølgeretning 0°. Flydervægt 1,575kg (Ø23cm i vandspejl).

Tabel 21. Tests i serie U.

Test	Bølge	Belast. [Nm]	Omd. [Rad/s]	Effekt [W]
723	UR III	9.85	0.244	2.40
724	UR III	16.24	0.188	3.12
725	UR III	19.58	0.147	2.94
726	UR III	14.67	0.196	2.93
727	UR II	13.96	0.092	1.30
728	UR II	14.11	0.084	1.20
729	UR II	8.54	0.160	1.36
730	UR I	8.70	0.022	0.19
731	UR I	6.34	0.045	0.29
732	UR I	5.04	0.073	0.37
733	UR IV	23.10	0.194	4.57
734	UR IV	36.19	0.134	4.99
735	UR IV	43.65	0.084	3.80
736	UR V	45.10	0.128	5.97
737	UR V	61.67	0.085	5.46
738	UR V	35.84	0.170	6.24
739	UR V	25.43	0.210	5.44
740	R II	14.88	0.207	3.09
741	R II	20.85	0.154	3.21
742	R II	25.20	0.113	2.87
743	R II	15.65	0.185	2.90

Appendiks A.4 Serie V: Kegle- og kuglehat

Testserien omhandler tests med flydertyperne keglehat, kuglehat og afskåret kuglehat. Tests med hele maskinen, bølgeretning 0° samt egensvingsningsforsøg.

Tabel 22. Tests i serie V.

Test	Flydertype	Antal	Vægt [kg]	Bølge	Belast. [Nm]	Omd. [Rad/s]	Effekt [W]
744	Keglehat	40	3.4	UR II	8.27	0.223	1.85
744b	Keglehat	40	3.4	UR II	19.47	0.093	1.81
744c	Keglehat	40	3.4	UR II	13.97	0.150	2.11
744d	Keglehat	40	3.4	UR II	16.12	0.129	2.08
745	Keglehat	40	3.4	UR I	8.49	0.030	0.25
745b	Keglehat	40	3.4	UR I	6.98	0.047	0.34
745c	Keglehat	40	3.4	UR I	4.95	0.099	0.49
746	Keglehat	40	3.4	UR III	24.90	0.213	5.31
746b	Keglehat	40	3.4	UR III	37.31	0.139	5.21
746c	Keglehat	40	3.4	UR III	33.59	0.155	5.22
746d	Keglehat	40	3.4	UR III	22.30	0.214	4.79
747	Keglehat	40	3.4	UR IV	37.38	0.222	8.31
747b	Keglehat	40	3.4	UR IV	48.76	0.186	9.10
747c	Keglehat	40	3.4	UR IV	57.90	0.165	9.60
747d	Keglehat	40	3.4	UR IV	68.56	0.143	9.83
747e	Keglehat	40	3.4	UR IV	78.12	0.126	9.91
747f	Keglehat	40	3.4	UR IV	87.42	0.111	9.84

Tabel 22, fortsat. Tests i serie V.

Test	Flydertype	Antal	Vægt [kg]	Bølge	Belast. [Nm]	Omd. [Rad/s]	Effekt [W]
748	Keglehat	40	3.4	UR V	105.62	0.137	14.60
748b	Keglehat	40	3.4	UR V	118.48	0.125	14.80
748c	Keglehat	40	3.4	UR V	129.76	0.111	14.51
771	Keglehat	40	1.79	UR II	12.20	0.153	1.86
772	Keglehat	40	1.79	UR II	14.45	0.131	1.90
773	Keglehat	40	1.79	UR II	16.18	0.118	1.91
774	Keglehat	40	1.79	UR II	20.73	0.089	1.84
775	Keglehat	40	1.9	UR III	21.42	0.182	3.92
776	Keglehat	40	1.9	UR III	25.19	0.163	4.12
777	Keglehat	40	1.9	UR III	31.73	0.138	4.41
778	Keglehat	40	1.9	UR III	36.55	0.119	4.40
779	Keglehat	40	4.9	UR II	15.69	0.133	2.08
780	Keglehat	40	4.9	UR II	17.35	0.116	2.03
781	Keglehat	40	4.9	UR II	12.43	0.170	2.12
782	Keglehat	40	4.9	UR II	8.33	0.237	1.98
783	Keglehat	40	4.9	UR III	24.34	0.245	6.00
784	Keglehat	40	4.9	UR III	21.59	0.266	5.76
785	Keglehat	40	4.9	UR III	29.71	0.202	6.06
786	Keglehat	40	4.9	UR III	35.47	0.168	6.03
787	Keglehat	40	4.9	UR IV	63.03	0.174	11.10
788	Keglehat	40	4.9	UR IV	70.23	0.160	11.33
789	Keglehat	40	4.9	UR IV	80.74	0.137	11.22
790	Keglehat	40	4.9	UR V	92.74	0.174	16.26
791	Keglehat	40	4.9	UR V	106.24	0.152	16.35
792	Keglehat	40	4.9	UR V	118.98	0.134	16.13
793	Keglehat	40	4.9	UR I	8.16	0.028	0.23
794	Keglehat	40	4.9	UR I	7.01	0.038	0.27
795	Keglehat	40	4.9	UR I	4.80	0.071	0.35
796	Keglehat	40	4.4	UR II	11.28	0.180	2.03
797	Keglehat	40	4.4	UR II	14.30	0.146	2.09
798	Keglehat	40	4.4	UR II	17.00	0.121	2.07
799	Keglehat	40	4.4	UR II	15.91	0.130	2.08
800	Keglehat	40	4.4	UR II	12.91	0.163	2.11
801	Keglehat	40	5.9	UR II	11.56	0.147	1.71
802	Keglehat	40	5.9	UR II	14.13	0.119	1.69
803	Keglehat	40	5.9	UR II	8.30	0.200	1.67
804	Keglehat	40	5.9	UR III	20.32	0.246	5.03
805	Keglehat	40	5.9	UR III	24.48	0.210	5.17
806	Keglehat	40	5.9	UR III	29.45	0.179	5.31
807	Keglehat	40	5.9	UR III	35.22	0.147	5.22
808	Keglehat	40	4.4	UR III	25.79	0.226	5.86
809	Keglehat	40	4.4	UR III	32.12	0.186	6.02
810	Keglehat	40	4.4	UR III	35.75	0.169	6.11
811	Keglehat	40	4.4	UR III	41.37	0.143	5.97
812	Keglehat	20	4.4	UR III	19.18	0.194	3.75
813	Keglehat	20	4.4	UR III	24.79	0.145	3.66
814	Keglehat	20	4.4	UR III	21.63	0.168	3.68
815	Keglehat	20	4.4	UR III	14.40	0.247	3.59
816	Keglehat	20	4.4	UR II	12.15	0.121	1.50
817	Keglehat	20	4.4	UR II	8.10	0.191	1.55
818	Keglehat	20	4.4	UR II	6.70	0.226	1.53

Tabel 22, fortsat. Tests i serie V.

Test	Flydertype	Antal	Vægt [kg]	Bølge	Belast. [Nm]	Omd. [Rad/s]	Effekt [W]
819	Kuglehat	20	3.29	UR III	14.71	0.180	2.67
820	Kuglehat	20	3.29	UR III	23.85	0.129	3.11
821	Kuglehat	20	3.29	UR III	34.16	0.084	2.93
822	Kuglehat	20	3.29	UR III	21.25	0.141	3.03
823	Kuglehat	20	4.29	UR III	20.43	0.169	3.50
824	Kuglehat	20	4.29	UR III	24.69	0.138	3.47
825	Kuglehat	20	4.29	UR III	18.83	0.180	3.43
826	Kuglehat	20	4.29	UR II	12.15	0.119	1.46
827	Kuglehat	20	4.29	UR II	8.31	0.177	1.48
828	Kuglehat	20	4.29	UR II	6.66	0.210	1.41
829	Kuglehat	40	3.29	UR II	12.62	0.164	2.07
830	Kuglehat	40	3.29	UR II	14.43	0.145	2.11
831	Kuglehat	40	3.29	UR II	15.82	0.135	2.14
832	Kuglehat	40	3.29	UR II	18.94	0.110	2.09
833	Kuglehat	40	3.29	UR III	28.87	0.178	5.18
834	Kuglehat	40	3.29	UR III	34.24	0.154	5.31
835	Kuglehat	40	3.29	UR III	36.09	0.149	5.44
836	Kuglehat	40	3.29	UR III	40.22	0.133	5.42
837	Kuglehat	40	3.29	UR IV	75.99	0.127	9.79
838	Kuglehat	40	3.29	UR IV	68.76	0.139	9.68
839	Kuglehat	40	3.29	UR IV	96.17	0.098	9.60
840	Kuglehat	40	3.29	UR IV	86.61	0.110	9.64
841	Kuglehat	40	3.29	UR V	112.83	0.126	14.39
842	Kuglehat	40	3.29	UR V	113.03	0.126	14.42
843	Kuglehat	40	3.29	UR V	104.33	0.136	14.38
844	Kuglehat	40	3.29	UR I	10.54	0.034	0.36
845	Kuglehat	40	3.29	UR I	9.13	0.051	0.47
846	Kuglehat	40	3.29	UR I	4.70	0.114	0.54
847	Afskåret kuglehat	40	3.4	UR II	15.17	0.140	2.13
848	Afskåret kuglehat	40	3.4	UR II	17.40	0.121	2.12
849	Afskåret kuglehat	40	3.4	UR II	13.66	0.155	2.13
850	Afskåret kuglehat	40	3.4	UR II	8.16	0.240	1.95
851	Afskåret kuglehat	40	3.4	UR I	8.21	0.036	0.29
852	Afskåret kuglehat	40	3.4	UR I	6.75	0.053	0.36
853	Afskåret kuglehat	40	3.4	UR I	4.65	0.113	0.53
854	Afskåret kuglehat	40	3.4	UR III	34.51	0.165	5.74
855	Afskåret kuglehat	40	3.4	UR III	38.94	0.143	5.64
856	Afskåret kuglehat	40	3.4	UR III	29.21	0.193	5.68
857	Afskåret kuglehat	40	3.4	UR IV	69.21	0.144	10.11
858	Afskåret kuglehat	40	3.4	UR IV	78.84	0.124	9.88
859	Afskåret kuglehat	40	3.4	UR IV	59.88	0.166	10.03
860	Afskåret kuglehat	40	3.4	UR V	108.77	0.130	14.29
861	Afskåret kuglehat	40	3.4	UR V	119.84	0.117	14.11
862	Afskåret kuglehat	40	3.4	UR V	101.09	0.144	14.63
863	Afskåret kuglehat	40	3.4	UR V	89.69	0.163	14.72
864	Afskåret kuglehat	40	3.4	UR V	77.59	0.183	14.32

Tabel 23. Liste over egensvingningsforsøg i serie V.

Test	Flydertype	Vægt [kg]	Egensvingningsperiode [s]
749	Keglehat	1.55	0.75
750	Keglehat	2.05	0.79
751	Keglehat	2.55	0.82
752	Keglehat	3.05	0.87
753	Keglehat	3.55	0.89
754	Keglehat	4.05	0.91
755	Keglehat	4.55	1.00
756	Keglehat	5.05	1.05
757	Keglehat	5.55	1.08
758	Keglehat	6.05	1.15
759	Keglehat	6.55	1.22
760	Kuglehat	1.55	0.64
761	Kuglehat	2.05	0.66
762	Kuglehat	2.55	0.72
763	Kuglehat	3.05	0.80
764	Kuglehat	3.55	0.83
765	Kuglehat	4.05	0.86
766	Kuglehat	4.55	0.90
767	Kuglehat	5.05	0.99
768	Kuglehat	5.55	1.05
769	Kuglehat	6.05	1.11
770	Kuglehat	6.55	1.19

Vægten omfatter flyderens egenvægt inkl. belastningen fra armen (0,15 kg).

Appendiks A.5 Serie W: Vandrette bølgekræfter

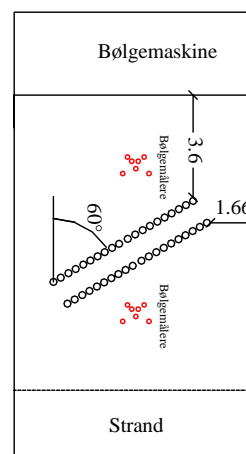
Testserien omhandler tests med en flyder af typen afskåret kuglehat, bølgeretning 0°, vanddybde 0,700 m. Resultater og yderligere forklaringer forefindes i Appendiks F.

Tabel 24. Liste over tests i serie W.

Test	Flyderposition	Opsætning	Bølge (target)
865	80% neddykket (5kg)	Bevægelig	R H=0,15 m, T=1,50 s
866	80% neddykket (5kg)	Bevægelig	UR, Hs=0,13 m, Tp=1,77 s
867	80% neddykket (5kg)	Bevægelig	UR, Hs=0,21 m, Tp=1,75 s
868	Helt neddykket (0cm)	Fast	R H=0,15 m, T=1,50 s
869	Helt neddykket (0cm)	Fast	UR, Hs=0,13 m, Tp=1,77 s
870	Helt neddykket (0cm)	Fast	UR, Hs=0,21 m, Tp=1,75 s
871	Delvist neddykket (+3cm)	Fast	R H=0,15 m, T=1,50 s
872	Delvist neddykket (+3cm)	Fast	UR, Hs=0,13 m, Tp=1,77 s
873	Delvist neddykket (+3cm)	Fast	UR, Hs=0,21 m, Tp=1,75 s
874	Delvist neddykket (+6cm)	Fast	R H=0,15 m, T=1,50 s
875	Delvist neddykket (+6cm)	Fast	UR, Hs=0,13 m, Tp=1,77 s
876	Delvist neddykket (+6cm)	Fast	UR, Hs=0,21 m, Tp=1,75 s
877	Delvist neddykket (+9cm)	Fast	R H=0,15 m, T=1,50 s
878	Delvist neddykket (+9cm)	Fast	UR, Hs=0,13 m, Tp=1,77 s
879	Delvist neddykket (+9cm)	Fast	UR, Hs=0,21 m, Tp=1,75 s

Appendiks B. Bølgemålinger & reflektioner

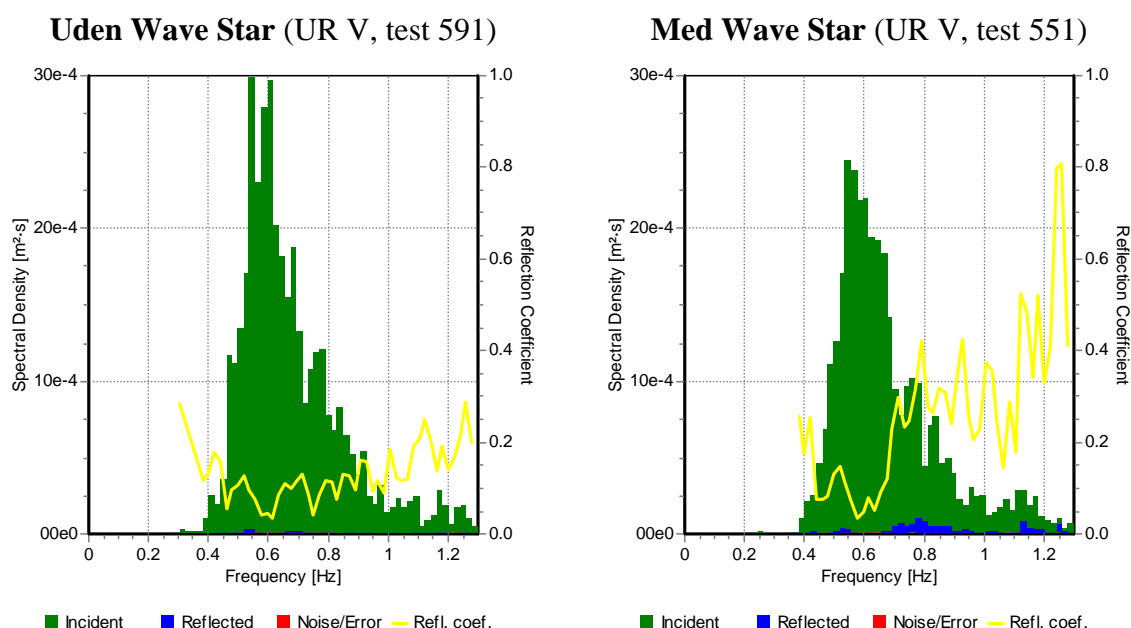
I forsøgene med den 60° drejede maskine foretaget i Serie S (Appendiks A.1) er der foretaget bølgemålinger fra to systemer med hver 7 bølgemålere. Et system var placeret mellem Wave Star modellen og bølgemaskinen (forside), og et system var placeret bag maskinen mellem modellen og stranden (bagside), se figuren til højre. Der er foretaget bølgemålinger både med wave Star i drift og målinger uden Wave Star i bassinet. For maskinen i drift er det valgt at præsentere resultater fra forsøgene, hvor momentbelastningen af akslen var størst. Testnumrene svarende hertil er angivet i Tabel 25.



Tabel 25. Forsøg med 60° maskine anvendt i 3D bølgeanalyse.

Søtilstand	Forsøg nr. (uden Wave Star)	Forsøg nr. (med Wave Star)
UR I	587	538
UR II	588	542d
UR III	589	546
UR IV	590	549
UR V	591	551

Et eksempel på reflektionerne i bassinet fremgår af Figur 17. Af Figur 17 (venstre) fremgår, at den gule kurve (refleksionskoefficienten) generelt ligger meget lavt. Af Figur 17 (højre) fremgår, at den gule kurve har mange toppe ved høje frekvenser i intervallet 0.7-1.3 Hz. Dette betyder, at Wave Star udsender korte bølger pga. reflektioner og bevægelserne af flyderne.



Figur 17. Eksempel på reflektioner i bølgebassinet, målinger fra forreste bølgemålersystem.

Appendiks B.1 Reflektioner fra stranden

En detaljeret analyse af bølgerne i bassinet uden Wave Star er foretaget i regneark på vedlagte CD. Det fremgår heraf, at de indkomne bølger i søtilstand I-III omtrent er ens for de to lokaliteter, men at de indkomne bølger i søtilstand IV-V er en smule højere ved lokaliteten af det bagerste bølgemålersystem, se Tabel 26. Af analysen fremgår desuden,

at de beregnede refleksionskoefficienter generelt er meget små, således er koefficienterne alle under 20%, og gennemsnittet er kun 15%.

Tabel 26. Bølger på lokaliteterne af de to målesystemer for målinger uden Wave Star.

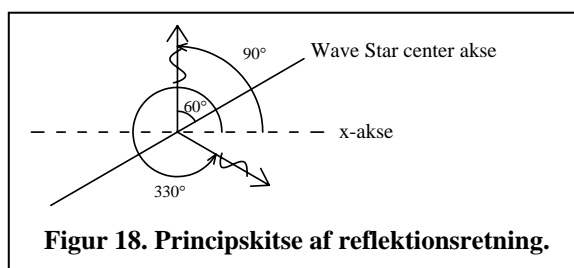
Søtilstand	$H_{m0,I,forside} / H_{m0,I,bagside}$	Ref. koef. forside / Ref. koef. bagside
UR I	0.97	1.2
UR II	1.02	0.6
UR III	0.98	0.8
UR IV	0.86	1.2
UR V	0.88	0.7

Appendiks B.2 Reflektioner fra Wave Star

Når en indkommen bølge rammer maskinen vil en del af den reflekteres. Ydermere vil bevægelserne af flyderne give anledning til bølgeudbredelse vinkelret på maskinen. Bølgeudbredelsesretningen af de indkomne bølger defineres her til 90° (vinkelret på bølgemaskinens flapper). Pga.

orienteringen af Wave Star på 60°, vil

bølger reflekteret på center-aksen af Wave Star have retningen 330°, se Figur 18. På efterfølgende Figur 19 er optegnet 3D bølgespektre, hvor virkningen af reflektionerne fremgår af det forreste bølgemålersystem med Wave Star.



Figur 18. Principskitse af refleksionsretning.

Appendiks B.3 Re-reflektioner fra bølgemaskine

Bølgemålingerne på den forreste lokalitet foretaget uden Wave Star er i Tabel 27 sammenlignet med målingerne foretaget med Wave Star. Det fremgår heraf, at de indkomne signifikante bølgehøjder omtrent er uændrede på trods af, at de beregnede refleksionskoefficienter med Wave Star er væsentligt højere end refleksionskoefficienterne uden Wave Star. De bølger, som re-reflekteres fra flapperne har således en minimal indvirkning på de indkomne bølger på lokaliteten af det forreste bølgemålersystem. Dette indikerer, at bølgerne er i stand til at passere Wave Star uden store problemer med stående bølger mellem bølgemaskinen og Wave Star.

Tabel 27. Bølger på den forreste lokalitet med og uden wave Star.

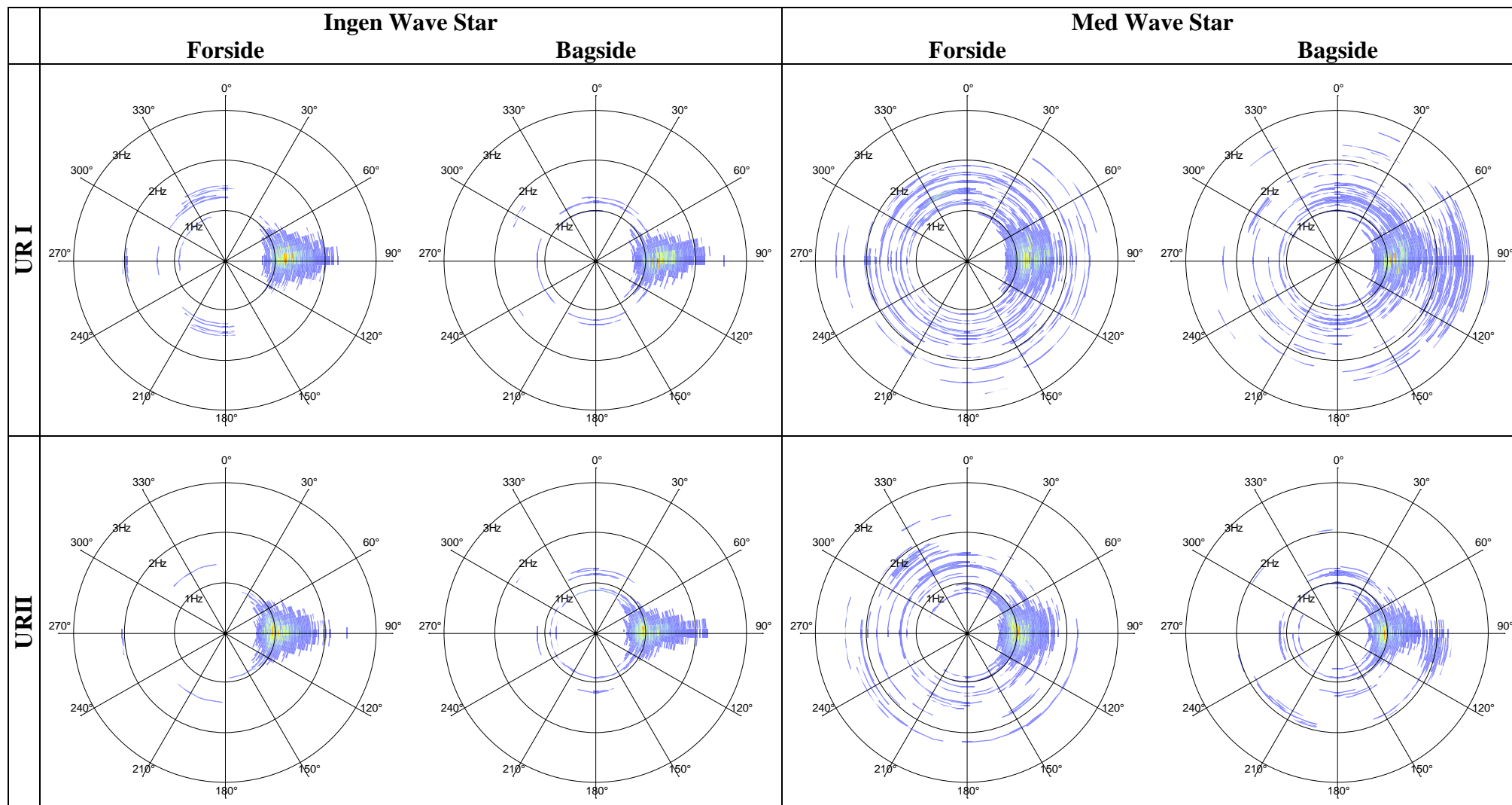
Søtilstand	$\frac{H_{m0,I, med Wave Star}}{H_{m0,I, uden Wave Star}}$	$\frac{Ref.koef. med Wave Star}{Ref.koef. uden Wave Star}$
UR I	1.02	2.5
UR II	1.04	3.4
UR III	0.99	2.9
UR IV	1.04	1.5
UR V	0.96	2.0

Appendiks B.4 Skyggevirkning af Wave Star

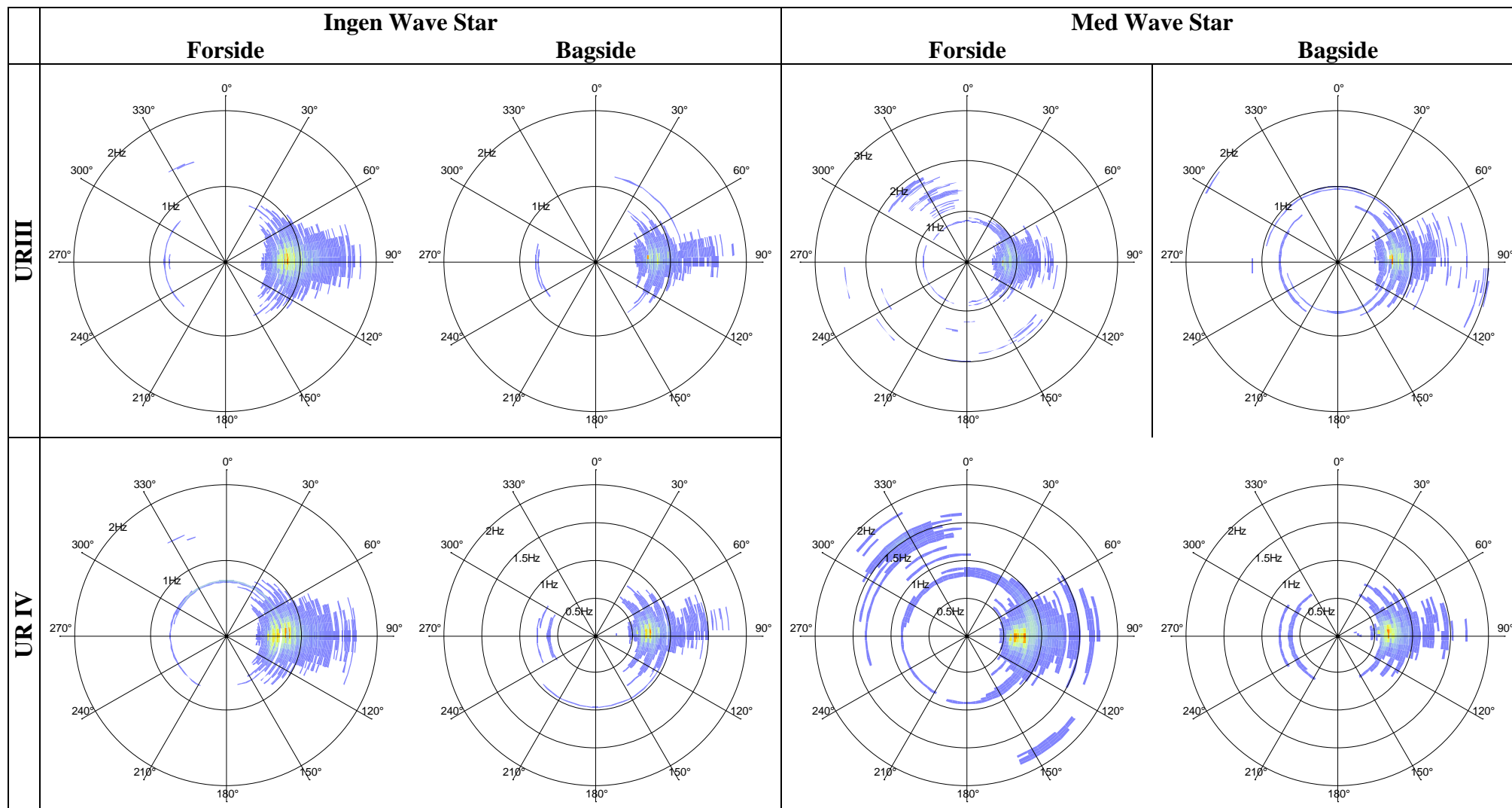
Sammenlignes de indkomne bølger foran Wave Star med bølgerne bag Wave Star kan skyggevirkningen af anlægget illustreres, se Tabel 28. Heraf fremgår, at den indkomne signifikante bølgehøjde bag Wave Star er 53% i Søtilstand I, stigende til 97% i Søtilstand V. Wave Star skygger således meget for korte bølger, mens lange bølger lettere passerer anlægget.

Tabel 28. Skyggevirkning af Wave Star.

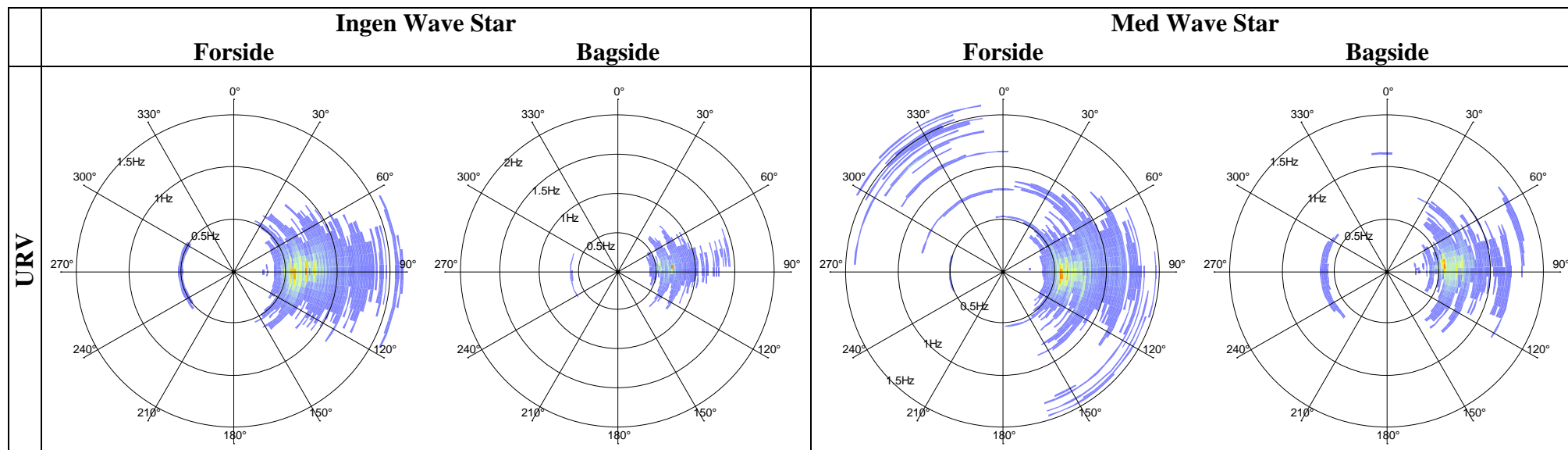
Søtilstand	$H_{m0,I,bagside} / H_{m0,I,forside}$
UR I	0.53
UR II	0.66
UR III	0.76
UR IV	0.89
UR V	0.97



Figur 19. 3D bølgespektre.



Figur 19, fortsat. 3D bølgespektre.

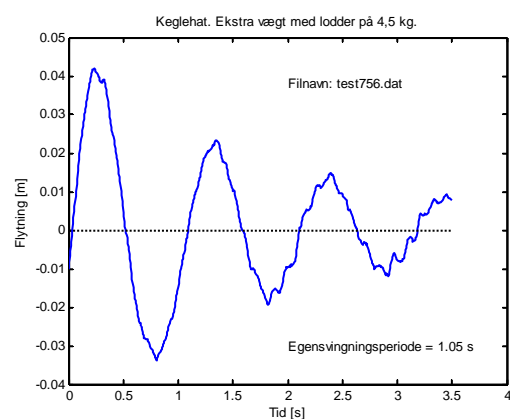
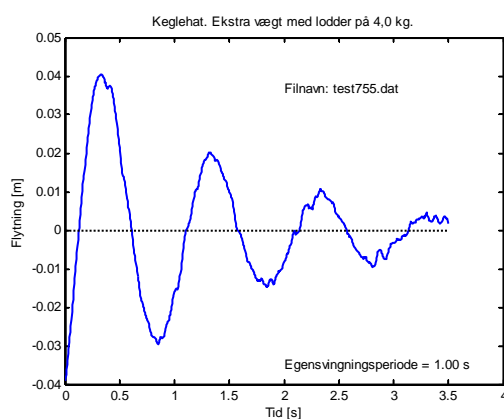
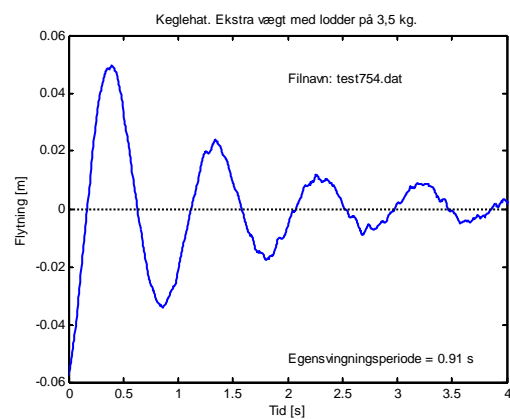
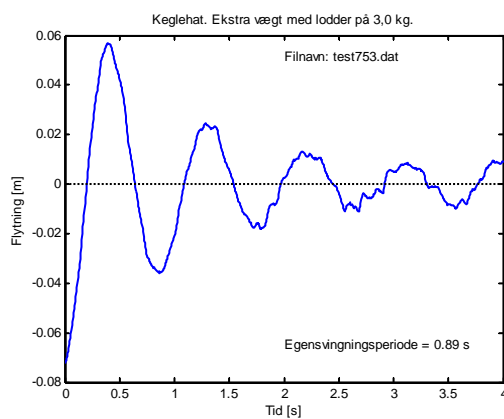
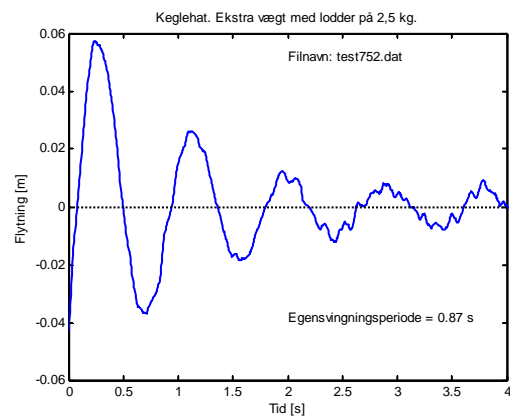
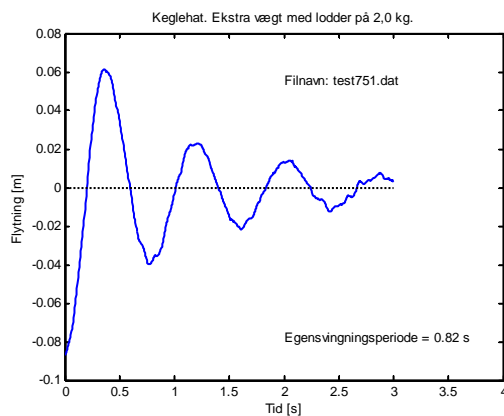
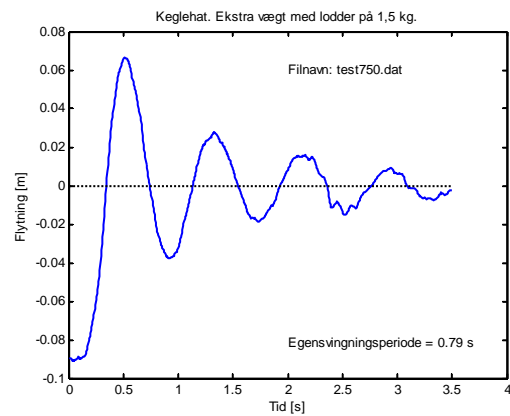
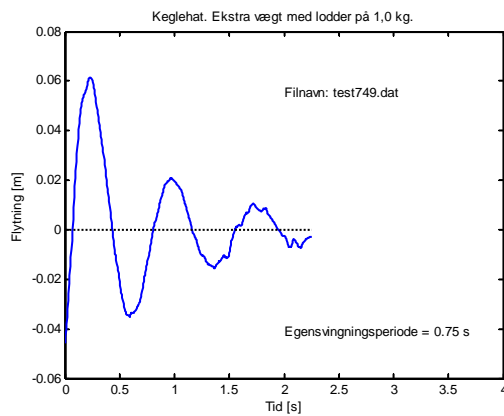


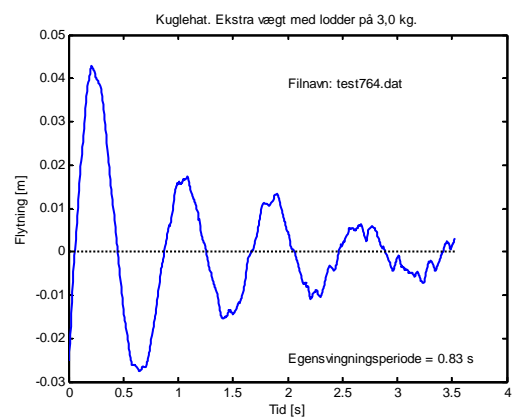
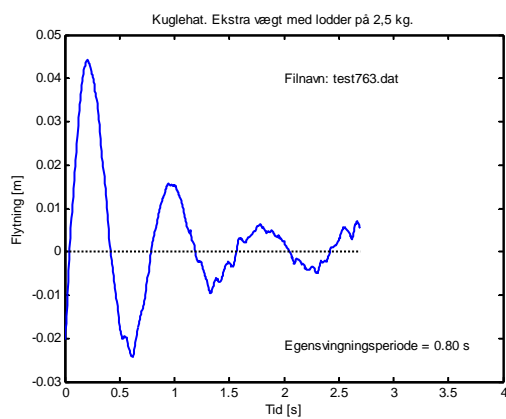
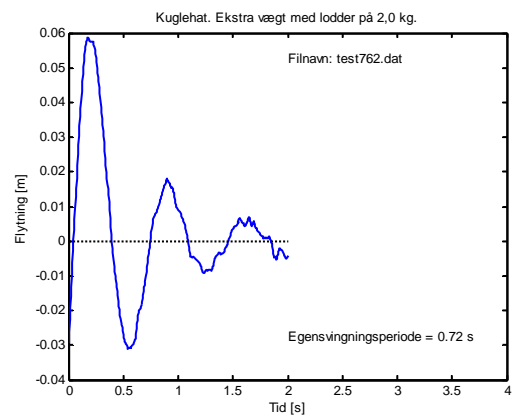
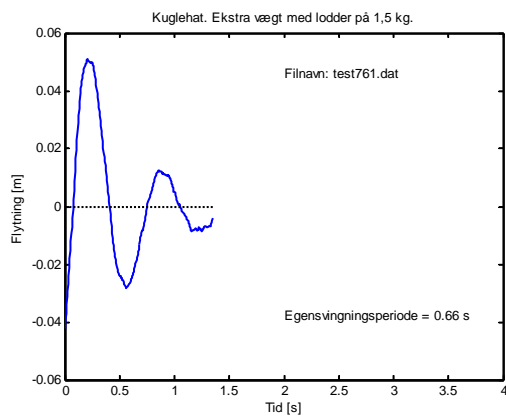
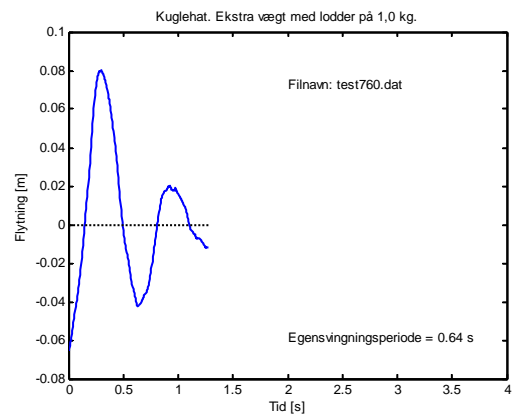
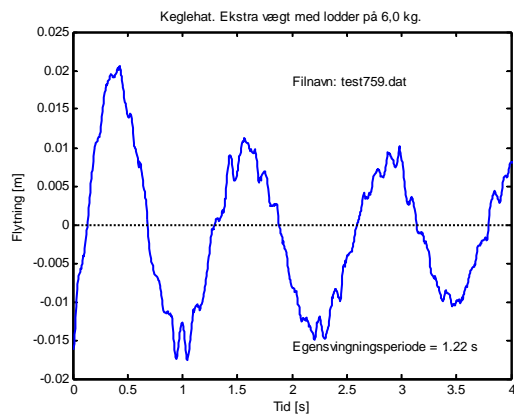
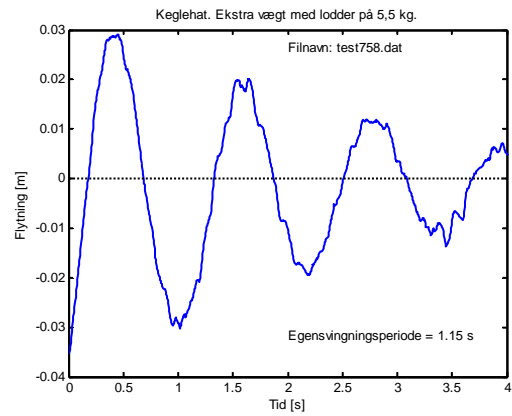
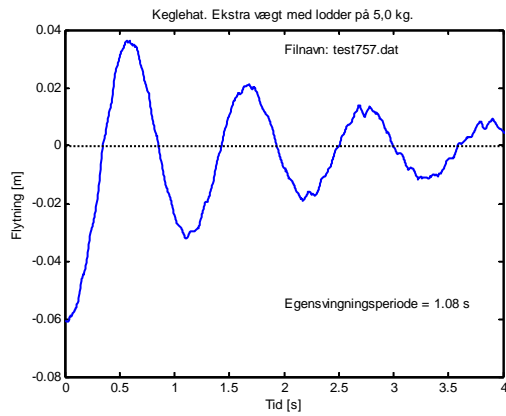
Figur 19, fortsat. 3D bølgespektre.

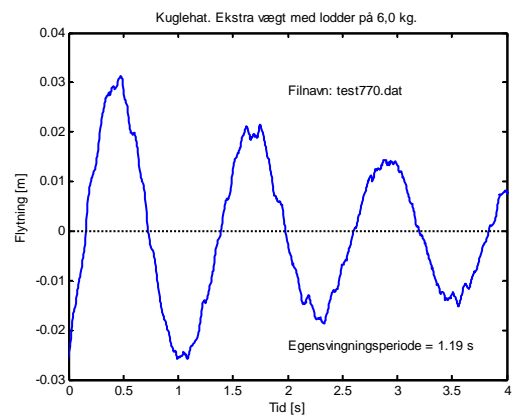
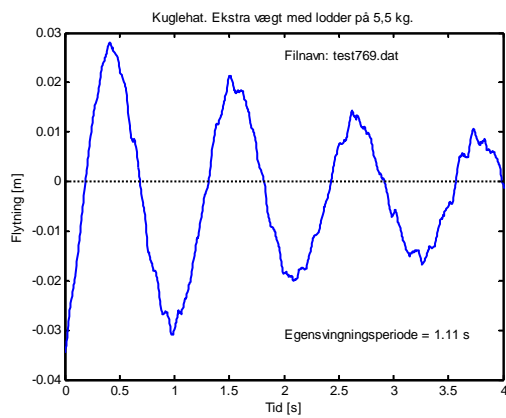
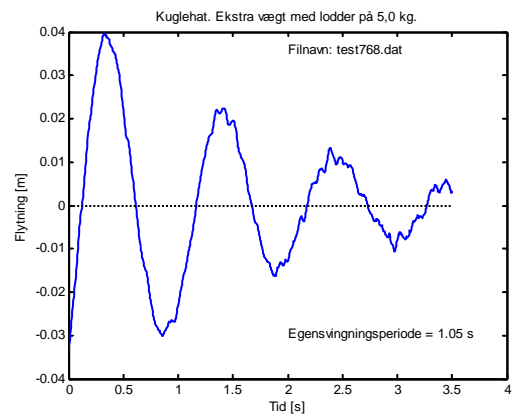
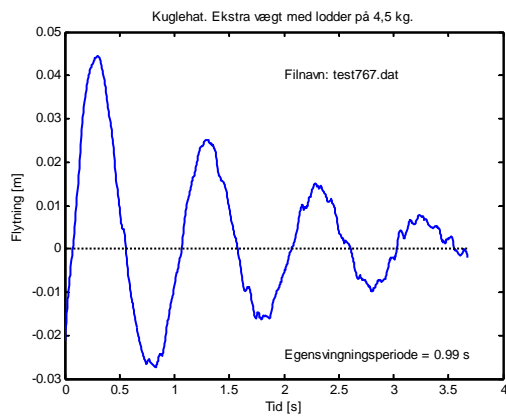
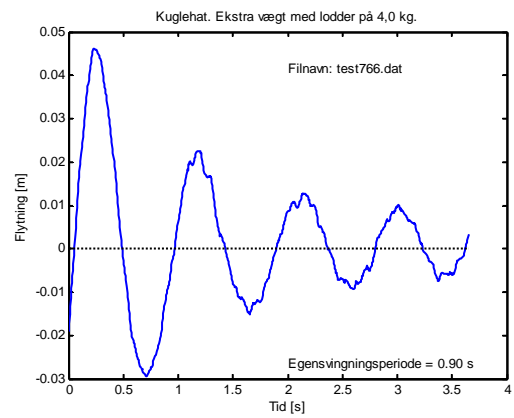
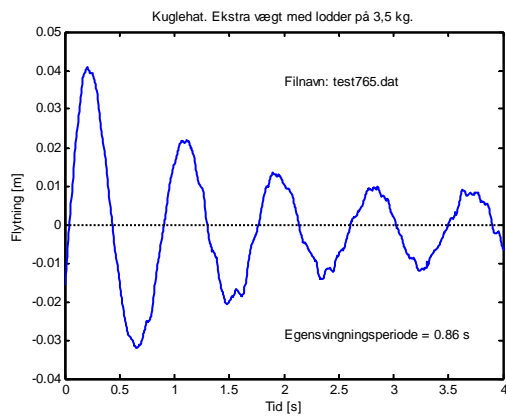
NB: Bemærk, at skalaerne i Figur 19 for nogle af graferne er forskellige.

Appendiks C. Figurer for egensvingningsforsøg

Efterfølgende er gengivet figurer for egensvingningsforsøgene med flydertyperne Kugle- og Koglehat. Disse forsøg er foretaget i Serie V og findes beskrevet i Appendiks A.4.







Appendiks D. Tabeller med flydernes individuelle effektbidrag

Følgende tabeller indeholder beregnet middeleffekt af de enkelte flydere. Der er målt drivende momenter på hver anden flyder i den ene side af maskinen (flydernr. 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 og 17). Disse drivende momenter er multipliceret med akslens rotationshastighed for at finde effektbidraget fra de enkelte flydere. I tabellerne er der yderligere foretaget et overslag på den totale effekt for hele anlægget. For mellemliggende flydere er der anvendt lineær interpolation mellem de nærliggende målinger. Målingerne fra flyder nr. 17 er anvendt for alle de bagvedliggende flydere (nr. 18, 19 og 20). I sidste kolonne i tabellerne er dette overslag sammenlignet med det målte effektoutput på hele maskinen.

$$P_{\text{overslag}} = 2 \cdot (1.5 \cdot P_1 + 2 \cdot P_3 + 2 \cdot P_5 + 2 \cdot P_7 + 2 \cdot P_9 + 2 \cdot P_{11} + 2 \cdot P_{13} + 2 \cdot P_{15} + 4.5 \cdot P_{17})$$

Søtilstand UR II

θ [°]	Flydertype	Vægt [ton]	Forsøg nr	Beregnet effekt [kW]									P _{overslag} [kW]	P _{målt, ialt} [kW]	P _{overslag} / P _{målt}
				P ₁	P ₃	P ₅	P ₇	P ₉	P ₁₁	P ₁₃	P ₁₅	P ₁₇			
0	Ø200 kugle	96	L, 253	26	28	23	19	17	21	17	16	22	845	684	1.24
20	Ø200 kugle	96	M, 312c	24	22	21	22	19	22	20	24	19	-	672	-
60	Ø200 kugle	96	S, 542c	24	20	22	15	14	17	19	17	16	-	988	-
0	Keglehat	131	V, 773	30	26	27	16	13	10	11	16	16	711	773	0.92
0	Keglehat	227	V, 744c	45	35	29	16	13	9	11	10	-	721	854	0.84
0	Keglehat	291	V, 800	52	36	27	16	16	13	15	18	18	876	854	1.03
0	Keglehat	387	V, 801	52	27	22	14	11	10	11	15	13	719	692	1.04
0	Kuglehat	211	V, 831	37	27	28	15	11	14	15	20	11	738	866	0.85
0	Afskåret kuglehat	218	V, 849	43	30	26	14	12	11	12	14	13	727	858	0.85

Søtilstand UR III

θ [°]	Flydertype	Vægt [ton]	Forsøg nr	Beregnet effekt [kW]									P _{overslag} [kW]	P _{målt, ialt} [kW]	P _{overslag} / P _{målt}
				P ₁	P ₃	P ₅	P ₇	P ₉	P ₁₁	P ₁₃	P ₁₅	P ₁₇			
0	Ø200 kugle	96	L, 258	50	47	49	39	31	31	38	36	35	1553	1566	0.99
20	Ø200 kugle	96	M, 313d	43	42	42	37	35	37	42	42	42	-	1631	-
60	Ø200 kugle	96	S, 545	48	37	33	26	30	35	35	40	37	-	2072	-
0	Keglehat	131	V, 777	54	48	57	36	29	24	35	40	44	1637	1785	0.92
0	Keglehat	227	V, 746	85	66	70	42	34	26	39	48	47	1984	2149	0.92
0	Keglehat	291	V, 810	86	73	81	45	42	38	59	46	56	2300	2473	0.93
0	Keglehat	387	V, 806	96	65	75	40	37	37	48	41	46	2070	2149	0.96
0	Kuglehat	211	V, 835	64	54	66	45	35	37	52	59	40	1954	2202	0.89
0	Afskåret kuglehat	218	V, 854	79	62	71	48	35	35	50	51	54	2129	2323	0.92

Søtilstand UR II

θ [°]	Flydertype	Vægt [ton]	Forsøg	P_1/P_1	P_1/P_3	P_1/P_5	P_1/P_7	P_1/P_9	P_1/P_{11}	P_1/P_{13}	P_1/P_{15}	P_1/P_{17}
0	Ø200 kugle	96	L, 253	1	1.06	0.87	0.73	0.65	0.80	0.65	0.59	0.84
20	Ø200 kugle	96	M, 312c	1	0.92	0.85	0.91	0.79	0.91	0.81	0.99	0.80
60	Ø200 kugle	96	S, 542c	1	0.86	0.95	0.63	0.61	0.71	0.79	0.73	0.68
0	Keglehat	131	V, 773	1	0.87	0.90	0.53	0.42	0.33	0.37	0.55	0.53
0	Keglehat	227	V, 744c	1	0.77	0.64	0.34	0.29	0.20	0.24	0.23	-
0	Keglehat	291	V, 800	1	0.70	0.52	0.30	0.30	0.25	0.30	0.34	0.35
0	Keglehat	387	V, 801	1	0.51	0.42	0.26	0.22	0.19	0.22	0.29	0.26
0	Kuglehat	211	V, 831	1	0.73	0.76	0.42	0.31	0.38	0.42	0.56	0.31
0	Afskåret kuglehat	218	V, 849	1	0.70	0.61	0.33	0.28	0.25	0.29	0.32	0.30

Søtilstand UR III

θ [°]	Flydertype	Vægt [ton]	Forsøg	P_1/P_1	P_1/P_3	P_1/P_5	P_1/P_7	P_1/P_9	P_1/P_{11}	P_1/P_{13}	P_1/P_{15}	P_1/P_{17}
0	Ø200 kugle	96	L, 258	1	0.94	0.97	0.78	0.62	0.62	0.76	0.72	0.71
20	Ø200 kugle	96	M, 313d	1	0.98	0.97	0.86	0.81	0.86	0.99	0.98	0.97
60	Ø200 kugle	96	S, 545	1	0.77	0.68	0.53	0.62	0.73	0.72	0.82	0.76
0	Keglehat	131	V, 777	1	0.90	1.07	0.68	0.55	0.45	0.65	0.74	0.82
0	Keglehat	227	V, 746	1	0.78	0.82	0.49	0.39	0.31	0.46	0.57	0.55
0	Keglehat	291	V, 810	1	0.85	0.94	0.52	0.48	0.44	0.68	0.54	0.65
0	Keglehat	387	V, 806	1	0.68	0.78	0.42	0.38	0.39	0.50	0.42	0.48
0	Kuglehat	211	V, 835	1	0.84	1.04	0.71	0.55	0.58	0.82	0.93	0.63
0	Afskåret kuglehat	218	V, 854	1	0.78	0.90	0.60	0.44	0.44	0.63	0.65	0.69

Appendiks E. Billeder af flydertyper

Følgende er de fleste af de benyttede flydertyper vist. Øvrige flydertyper er vist i Kramer og Andersen (2005). Alle angivne størrelser er i modelskala.

Tyskerhat:

Øvre diameter på 280 mm, totalhøjde 125 mm.



Kuglehat:

Øvre diameter på 270 mm, kugle Ø250 mm. Totalhøjde 220 mm.



Afskåret kuglehat:

Øvre diameter på 262 mm, kugle Ø250 mm. Totalhøjde 180 mm.



Keglehat:

Øvre diameter på 270 mm, diameter i knæk 250 mm. Totalhøjde 288 mm.



Appendiks F. Design bølgelaster på Wave Star flydere til Nissum Bredning

Morten Kramer & Thomas Lykke Andersen, 15. marts 2005

D.1 Indledning

Det er vigtigt, at resultaterne angivet efterfølgende suppleres og valideres med beregninger, før de eventuelt anvendes som designlaster.

Med henblik på konstruktionsmæssigt design af Wave Star maskinen til Nissum Bredning ønskes designlaster og kritiske situationer fastlagt. For maskinen i fuld skala forventes udmattelse at være dimensionsgivende for mange af komponenterne i maskinen. Maskinen til Nissum Bredning skal kun køre i en kort periode, hvorfor udmattelseslaster formentligt ikke er dimensionsgivende. Det er dog væsentligt ved design af de enkelte konstruktionsdele, at det vurderes, om der eventuelt kan opstå problemer mht. udmattelse.

Under storm er flyderne løftet ud af vandet. Da der herved kun er kræfter fra vind og små bølgesprøjt, forventes kræfterne på flyderne små i forhold til kræfterne under normal drift. I det følgende søges derfor de største kræfter under normal drift fastlagt.

Der vil generelt opstå kræfter på flyderne fra:

- Vind
- Strøm
- Bølger
- Bevægelser og eventuel slamming
- Opdrift
- Is (drivis og overisning)

Følgende situationer forventes kritiske:

1. Flyderen gennembyder overfladen med stor hastighed på vej nedad
 - Dette medfører store slammingkræfter
2. Flyderne er løftet helt ud af vandet i forbindelse med storm
 - Dette medfører store vindkræfter og kræfter fra eventuelle bølgesprøjt
3. Flyderne er løftet ud af vandet pga. drivis eller overisning
 - Is og sne kan samles på flyderne og medføre stor egenvægt
4. Flyderne er under drift trykket ned i vandet pga. egenvægt, bevægelser og hydraulisk belastning
 - Stor opdrift
 - Store bølgekræfter
 - Strømkrafter

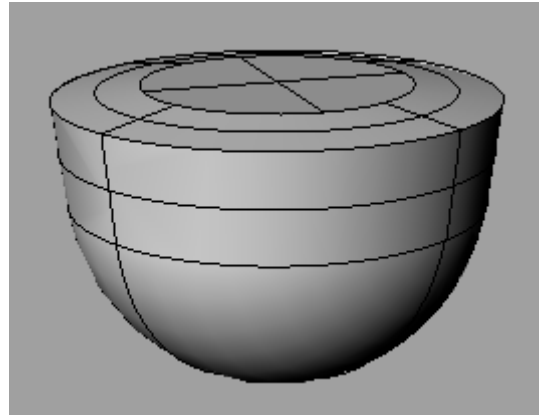
I dette skrift undersøges udelukkende den kritiske situation nummer 4, da denne forventes at give anledning til de største kræfter på flyderne. Kræfterne (især fra vind) på selve konstruktionen og hvordan flyderkræfterne føres fra flydere gennem armene til lejerne og videre til fundamentet behandles ikke i dette skrift.

D.2 Lodrette kræfter

Det anvendte hydrauliksystem tænkes indrettet således der maksimalt kan overføres et vist tryk i cylinderen. Såfremt kraften svarende til dette tryk overskrides, drænes trykket i cylinderen bort i en sløjfe. Denne dræning medfører, at flyderens bevægelse hindres mindre, hvorved store lodrette kræfter under bølgepåvirkning undgås.

Til design af flyder, arm og lejer kan det vælges at designe for en maksimallast svarende til fuld opdrift af flyderen. For at sikre at denne last ikke overskrides under bølgepåvirkning, er det således vigtigt at den maksimale kraft før dræning af cylinderen er væsentligt mindre (f.eks. 50% af den fulde opdriftskraft).

Flyderdesignet til Nisum Bredning maskinen har en form som "Testflyder 10" vist på Figur 20. Denne flyder har et volumen på $0,438 \text{ m}^3$, hvilket ved fuld fortrængning svarer til en fortrængt masse på $m = 449 \text{ kg}$ (for en densitet af vandet på 1025 kg/m^3). Fuld opdrift svarer således til en lodret kraft på $F = m \cdot g = 4400 \text{ N}$.



Figur 20. Testflyder 10.

D.3 Vandrette kræfter

De vandrette kræfter forventes størst under drift som omtalt indledningsvis. De vandrette kræfter opstår som følge af påvirkninger fra bølger og strøm. Efterfølgende undersøges udelukkende bølgekræfterne målt ved modelforsøg på Aalborg Universitet. Dragkræfter som følge af strøm skal tillægges design bølgelasten. Pga. kombinationen af strøm og bølger opstår yderligere et lille bidrag som følge af, at dragkræfterne er proportionale med hastigheden (hastighed af bølge + strøm) i anden potens. Dragkræfterne som følge af strøm samt kombinationsbidraget skal medtages ved beregning af den vandrette designlast, men behandles ikke videre i dette skrift.

D.3.1 Undersøgte bølgesituationer

Det er valgt at undersøge de tre bølgesituationer angivet i Tabel 29. Situationerne er i Tabel 30 vist svarende til skala 1:40, 1:10 og 1:1.

For at undgå bølgebrydning i laboratoriet foran flapperne var det i forsøgene med én flyder nødvendigt at øge vanddybden. Alle disse forsøg er således udført ved vanddybden 0,70m. For Nisum bredning (skala 1:10) svarer dette til en vanddybde på 2,8 m, hvilket umiddelbart vurderes at være realistisk. I Nordsø skala 1:1 svarer vanddybden til 28 m, hvilket er en større vanddybde end maskinen tænkes placeret på.

Bølgesituation 1 er en regelmæssig bølge. Forsøgene er udført for at have nogle simple forsøg som er lette at sammenligne med en beregningsmodel. Bølgehøjden er forholdsvis stor i forhold til flyderens højde, hvilket er en realistisk situation omend situationen er vanskelig at modellere ved anvendelse af lineær bølgeteori.

Bølgesituation 2 svarer omtrent til Søtilstand V omtalt i de foregående rapporter af Kramer *et al.* Situationen svarer til den største søtilstand hvor anlægget kører under normal drift under Nordsøforhold.

Bølgesituation 3 er en ofte forekommende bølge i Nisum Bredning. Som vist i Power Point præsentationen af Morten Kramer under Wave Star mødet på AAU den 2/2-2005 vil der ofte i Nisum Bredning kunne optræde væsentligt større bølger end svarende til skala 1:10 i forhold til Nordsøforhold. Der vil således i Nisum Bredning ofte optræde bølger med en signifikant bølgehøjde på 0,85 m med tilhørende peak perioder på 3,50 sekunder. Nisum bredning bølgen er højere og stejlere end svarende til Nordsøforhold.

Den omtalte Power Point præsentation kan downloades via <http://www.civil.aau.dk/~i5mkr/ws/>, vælg "Diverse" i menu'en i venstre side af skærmbilledet.

Tabel 29. Undersøgte bølgesituationer. Værdier i modelskala 1:40.

Situation	Bølgetype	H eller Hs [m]	T eller Tp [s]	Formål
1	Regelmæssig	0,15	1,50	Sammenligning med matematisk model
2	Uregelmæssig	0,13	1,77	Stor bølge i Nordsøen
3	Uregelmæssig	0,21	1,75	Stor bølge i Nisum Bredning

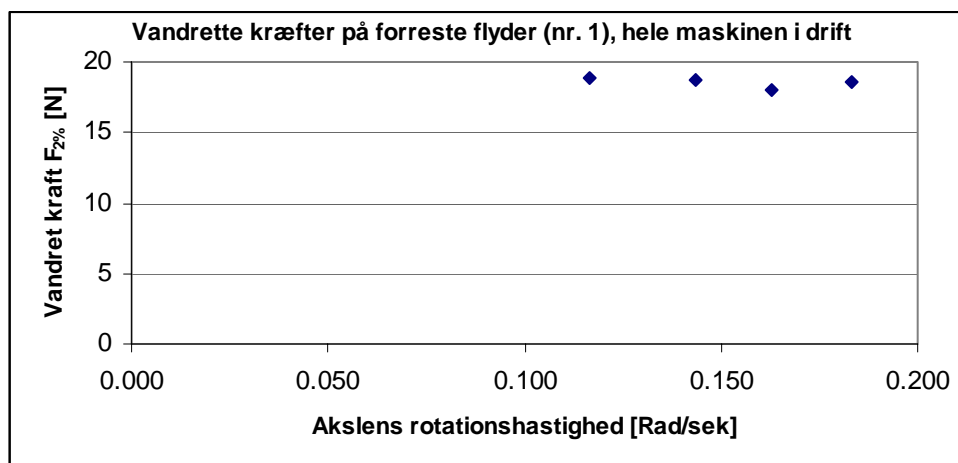
Tabel 30. Bølgesituationer svarende til forskellig skala.

Situation	Modelskaala 1:40		Nisum bredning skala 1:10		Nordsø skala 1:1	
	H eller Hs [m]	T eller Tp [s]	H eller Hs [m]	T eller Tp [s]	H eller Hs [m]	T eller Tp [s]
1	0,15	1,50	0,60	3,00	6,0	9,5
2	0,13	1,77	0,52	3,54	5,2	11,2
3	0,21	1,75	0,84	3,50	8,4	11,1

D.3.2 Målte vandrette bølgelaster

D.3.2.1 Eksisterende målinger på hele maskinen

I forsøg nummer 861-864 med hele maskinen i drift og flydertype svarende til Nisum-Bredning typen er der anvendt bølger med perioder svarende til Situation 2. Da bølgerne var lidt lavere i forsøg nummer 861-864 end svarende til situation 2, er der foretaget en korrektion af de målte kræfter svarende til den lavere bølgehøjde. Således var den signifikante bølgehøjde 1,18 gange mindre i forsøg 861-864, hvorfor de målte kræfter fra forsøg 861-864 vist på Figur 21 er multipliceret med 1,18. Det bemærkes, at udelukkende den vandrette kraft i maskinens længderetning er anvendt. Den vandrette kraft i maskinens tværreretning ikke er målt, og i øvrigt formodes denne at være a ringe størrelse i forhold til kraften i længderetningen for den forreste flyder.



Figur 21. Målte 2%-fraktiler af de vandrette bølgekræfter i forsøg 861-864.

På Figur 21 angiver x-aksen akslens rotationshastighed, hvilket er et udtryk for flydernes bevægelighed eller belastningen af akslen. Det fremgår af figuren, at punkterne omtrent ligger på samme niveau, hvorudfra det konkluderes, at $F_{2\%}$ som forventet omtrent er upåvirket af i hvor stor grad flyderens bevægelse hindres. Dog anes på figuren en svag trend for, at kræfterne er højest for størst fastholdelse af flyderen. Den højeste målte kraft vist på Figur 21 er 18.8 N.

D.3.2.2 Målinger på én flyder

I de eksisterende forsøg med hele maskinen blev der anvendt flydere med en egenvægt på cirka 3.2kg, svarende til cirka 50% fortrængning. Da en flyder med større egenvægt er tyngt længere ned i vandet formodes, at en sådan flyder måske kunne blive udsat for større vandrette kræfter. En tung flyder vil imidlertid ikke kunne følge med vandoverfladen til bølgetoppen, hvorfor en flyder fastholdt i en given højde over middelvandspejlet eventuelt ville blive udsat for større kræfter. Dette gav anledning til følgende forsøgsserier med én flyder:

- Bevægelig tung flyder (5kg svarende til 80 % fortrængning)
- Fastholdt flyder placeret i forskellige positioner i forhold til middelvandspejlet

Den fastholdte flyder blev placeret med overkanten af flyderen hhv. 0 cm, 3 cm, 6 cm og 9 cm over stille vandspejl (SWL) for at finde den situation som gav anledning til de største vandrette kræfter afhængigt af søtilstanden, se Figur 22.

Flyder fastholdt 9 cm over SWL

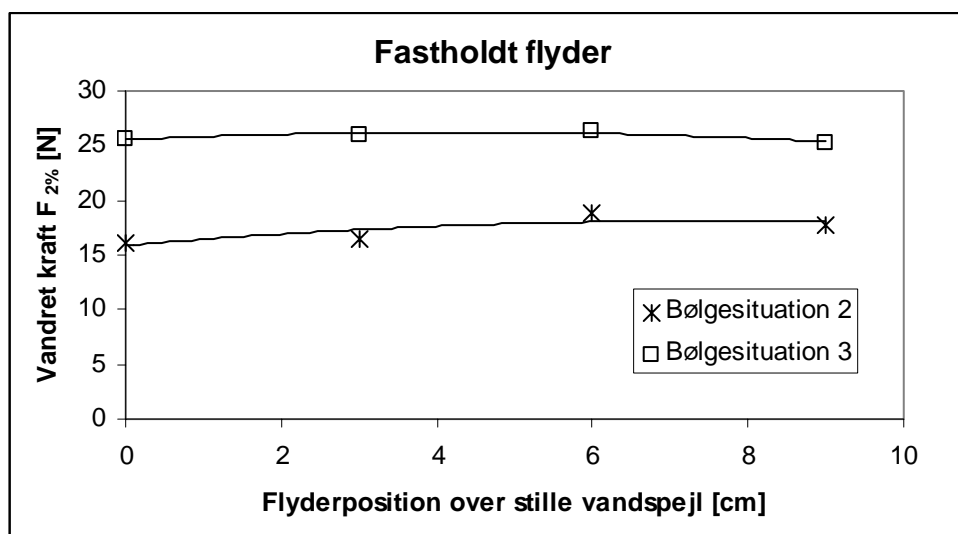


Bevægelig tung flyder



Figur 22. Forsøg med én flyder. Fastholdt (tv) og bevægelig (th).

Resultatet af forsøgene med fastholdt flyder er vist på Figur 23, hvor det fremgår, at $F_{2\%}$ kun er svagt afhængig af flyderpositionen. De største kræfter er målt for flyderen på positionen 6 cm over stille vandspejl for begge søtilstande. Disse toppunkter er angivet i Tabel 31 sammen med de øvrige resultater.



Figur 23. Bølgekræfter som funktion af flyderposition for fastholdt flyder.

Tabel 31. Sammenligning mellem resultater for de tre set-ups.

Bølgesituation	Fastholdt flyder	Bevægelig flyder	
		Flyder nr 1, hele maskinen i drift	Én tung flyder
1	18,9 N	18,8 N	18,0 N
2	26,3 N	-	26,5 N

Af Tabel 31 fremgår, at de målte $F_{2\%}$ kræfter for de tre set-ups omtrent er ens. Den største målte $F_{2\%}$ kraft er 18,9 N i Bølgesituation 1 og 26,5 N for Bølgesituation 3. Forholdet mellem disse to kræfter er $26,5/18,9 = 1,40$, mens forholdet mellem de signifikante bølgehøjder i de to situationer er $0,21/0,13 = 1,62$. Dette betyder, at såfremt kræfterne fra Bølgesituation 3 ønskes anvendt til forudsigelse af bølgekræfter ved lidt højere signifikant bølgehøjde, kan en lineær skallering af kræfterne mht. bølgehøjden forventes at være på den sikre side. Dette forhold anvendes i efterfølgende kapitel.

D.3.3 Korrektionsfaktorer

En brainstorm over, hvilke faktorer som kan gøre, at der kan opstå vandrette kræfter som er større end angivet i foregående kapitel, har medført følgende liste:

1. Usikkerheder på målinger
2. Skalaeffekter
3. Interaktioner mellem flydere
4. Mere kritisk situation end svarende til de testede
5. Større bølger end forventet under normal drift
6. Brydende bølger
7. Sjældnere forekommende maksimalkraft
8. Flyderform ændret i forhold til den testede
9. Begroning
10. Dynamisk forstærkning pga. egensvingninger i arme

Ad. 1 ”usikkerheder”

Usikkerhederne på målingerne er små og vurderes at være unødvendige at tage i regning, såfremt der anvendes en partialkoefficient.

Ad. 2 ”skalaeffekter”

Skalaeffekterne vurderes at være små da kræfterne er inert dominerede, men betydningen af disse bør belyses ved beregninger.

Ad. 3 ”interaktioner”

Interaktionerne mellem flyderne vil medføre større kræfter end for et system med kun én flyder. Virkningen af interaktionerne er imidlertid afhængigt af især gab, bølgeperiode, bølgeretning og flyderbevægelserne (hvilke afhænger af transmissionssystemet og styringen), og er således vanskelige at angive en eksakt størrelse for. Der søges i det følgende en forstærkningsfaktor, som kan kompensere resultaterne for dette forhold.

De i laboratoriet udførte forsøg med hele maskinen kan ikke anvendes, da kun den ene komponent af den vandrette kraft er målt (kraften i maskinens længderetning er målt, men kraften i maskinens tværretning er ikke målt).

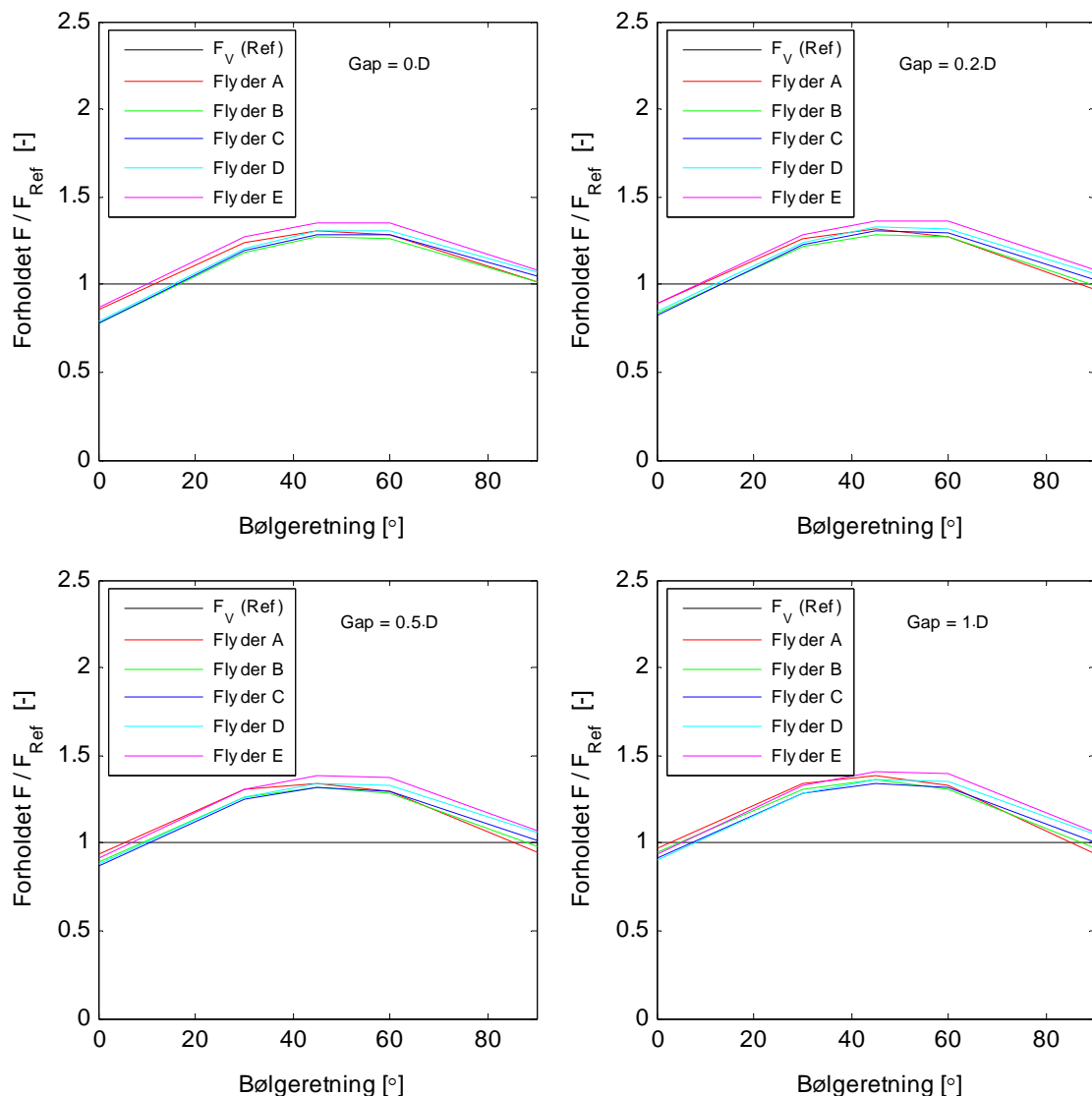
Beregningerne beskrevet af Kramer *et al.* 2004 (numeriske beregninger med 5 flydere) er analyseret igen med henblik på at finde maksimale forstærkningsfaktorer for de vandrette bølgekræfter. Det bemærkes, at beregningerne er gennemført med en anderledes flydergeometri og med kun én række flydere, hvilket kan have en lille indvirkning på efterfølgende resultat. Følgende metode er anvendt:

- Den største horisontale bølgekraft lokaliseres for et system med kun én flyder for en søtilstand svarende til Bølgesituation 3 angivet i Tabel 29.

- På samme vis findes den største horisontale bølgekræfter for systemet med 5 flydere. Virkningen af gab og bølgeretning kan dermed analyseres og sammenlignes med systemet med én flyder.

Størrelsen af de horisontale bølgekræfter er fundet som resultanten af kraften i maskinens længde- og tværretning. Denne horisontale bølgekræfter virker således ikke nødvendigvis vinkelret på armen.

Resultatet af analysen fremgår af Figur 24. Det fremgår, at en bølgeretning på cirka 45° giver anledning til de største forstærkningsfaktorer. Gabet er af mindre betydning for forstærkningsfaktoren. For maskinen til Nisum bredning er gabet cirka 0,2 gange flyderdiameteren. For dette gab lokaliseres den største forstærkningsfaktor til $f_{interaktion}=1,37$.



Figur 24. Forstærkningsfaktorer for horisontal bølgekræfter for et system med fem flydere.

Ad. 4 ”kritisk situation”

Situationen fastholdt flyder er undersøgt, og en situation med en bevægelig tung flyder er undersøgt. Da situationen med fastholdt flyder giver anledning til marginalt større vandrette kræfter forventes denne situation at være værst. Det kan imidlertid ikke ud fra

forsøgene udelukkes, at de maksimale vandrette kræfter på en bevægelig men lettere flyder er en smule større end kræfterne på den fastholdte flyder.

Ad. 5 ”større bølger”

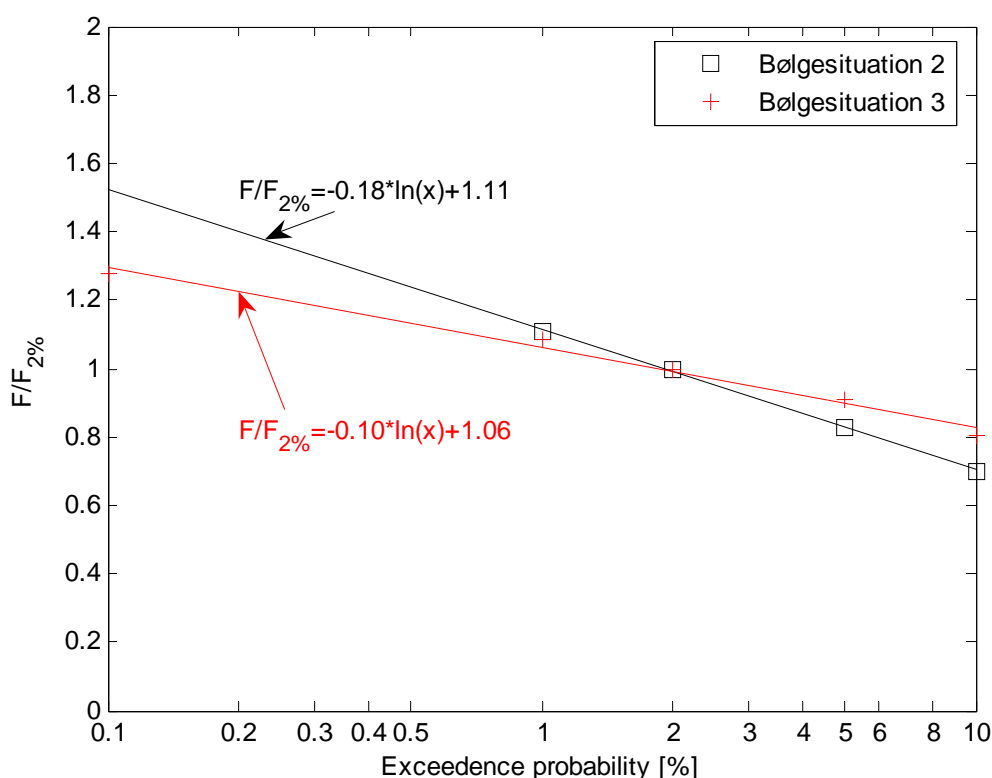
Af Power Point præsentationen vedr. bølger i Nissum bredning omtalt indledningsvis i dette kapitel fremgår, at signifikante bølgehøjder på 1,0 m ikke er usædvanlige i Nissum Bredning. I forhold til Bølgesituation 3 med den signifikante bølgehøjde på 0,84 m vil en sådan bølge omtrent kunne give anledning til $f_{bølge} = 1,0/0,84 = 1,19$ gange så store kræfter.

Ad. 6 ”brydende bølger”

Såfremt der kan opstå brydende bølger direkte på flyderne kan de vandrette kræfter på flyderne i øjeblikke blive væsentligt større end angivet i dette skrift. Brydende bølger kan opstå pga. lav vanddybde og korte bølger, eventuelt i samspil med specielle lokale bundforhold. Når den eksakte bundtopografi for området hvor maskinen skal placeres er kendt, bør det igen tages op til vurdering om der er risiko for bølgebrydning på flyderne under normal drift.

Ad. 7 ”sjældnere forekommende maksimalkraft”

Analyse af kraftmålingerne giver fraktileerne $F_{10\%}$, $F_{5\%}$, $F_{2\%}$, $F_{1\%}$ og $F_{0.1\%}$. Disse størrelser er normeret med $F_{2\%}$ og angivet på Figur 25. På figuren er et matematisk fit til målingerne angivet. Dette fit kan anvendes til finde en korrektionsfaktor for en vilkårlig overskridelsessandsynlighed. Vælges f.eks. for Bølgesituation 3 at dimensionere for en $F_{0.1\%}$ kraft fås følgende korrektionsfaktor: $f_{0.1\% \text{ fraktil}} = -0.10 \cdot \ln(0.1) + 1.06 = 1.29$.



Figur 25. Korrektionsfaktor mellem overskridelsessandsynlighed og $F_{2\%}$.

Ad. 8 ”flyderform”

Den i modelforsøgene testede flyderform afviger en smule fra den flyderform som tænkes anvendt i Nissum Bredning. Flyderen til Nissum bredning er en smule højere, således tværsnitsarealet er en smule større, se Figur 26.

Tværsnitsarealet for den i modelforsøgene anvendte flyder er 36.000 mm^2 . For Nissum bredning flyderen i samme skala er tværsnitsarealet 38.000 mm^2 . Antages den vandrette kraft omtrent proportional med tværsnitsarealet kan de målte kræfter således korrigeres ved anvendelse af en multiplikationsfaktor på $f_{form} = 38/36 = 1,06$.



Figur 26. Tværsnit af testflyder 10.

Ad. 9 ”begroning”

Begroning og ujævnheder på flydernes overflade kan lede til store horisontale dragkræfter pga. friktion. Begroning ønskes generelt minimeret, men trods vedligehold må en vis overfladefriktion påregnes efter ugers/måneders drift. Betydningen af dette forhold bør således undersøges nærmere ved beregning og eventuelt tages i regning.

Ad. 10 ”dynamisk forstærkning”

Det skal sikres at armene er tilstrækkeligt stive, således systemets egenfrekvens ligger langt over bølgefrekvenserne. Herved undgås dynamisk forstærkning af lasterne.

D.3.4 Design parametre for vandret bølgekraft

Følgende vandrette $F_{2\%}$ -fraktiler for bølgekræfterne er fundet ved skala 1:40 modelforsøgene og skalleret til skala 1:10 og 1:1 uden korrektioner.

Tabel 32. Målte vandrette $F_{2\%}$ bølgekræfter svarende til forskellig skala uden korrektion.

Situation	Modelskala 1:40	Nissum bredning skala 1:10	Nordsø skala 1:1
2	18,9 N	1210 N	1210 kN
3	26,5 N	1696 N	1696 kN

Som beskrevet i forrige kapitel er det nødvendigt at korrigere disse kræfter for forhold som gør, at designkræfterne bliver større. Til hjælp med denne korrektion kan faktorerne i Tabel 33 anvendes.

Tabel 33. Korrektionsfaktorer.

Forhold	Benævnelse	Anbefalet faktor
Interaktioner/bølgeretning	$f_{interaktion}$	1,37
Større bølger end anvendt	$f_{bølge}$	1,19
Sjældnere maksimalkraft	$f_{0.1\%fraktil}$	1,29
Ændret flyderform	f_{form}	1,06

Samtidig og samspillet mellem disse faktorer vurderes at være realistisk, men anvendes alle faktorerne samtidig vil den samlede faktor være på den sikre side. Den samlede faktor findes ved multiplikation af de 4 faktorer i Tabel 33 til $f_{samlet} = 2,23$. Korrektionsfaktoren er anvendt på de målte kræfter for Bølgesituation 3, hvorved kræfterne angivet i Tabel 34 er fundet. Til orientering svarer den fulde opdrift af Nissum-flyderen til 4400 N, hvilket kun er en smule mere end den vandrette designlast på 3782 N. Bølgesituationen kaldes i tabellen 3+, da den jf. korrektionen svarer til en signifikant bølgehøjde i Nissum Bredning skala på 1,0 m.

Tabel 34. Design vandrette bølgekræfter svarende til forskellig skala med korrektion.

Situation	Modelskala 1:40	Nissum bredning skala 1:10	Nordsø skala 1:1
3+	59 N	3782 N	3782 kN

Inden kræfterne eventuelt anvendes som designlaster for Nissum Bredning maskinen bør betydningen af skalaeffekter, begroning og risiko for bølgebrydning under normal drift kortlægges. Kræfterne bør multipliceres med en partialkoefficient for at tage højde for usikkerheder.

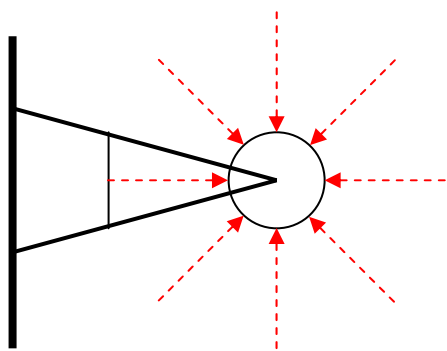
Inden anvendelse bør design bølgekræfterne desuden som omtalt indledningsvis understøttes af beregninger.

Til den vandrette bølgekraft skal tillægges bidrag fra strøm.

D.4 Kommentarer

Pga. angrebspunkterne for de vandrette og lodrette kræfter vil der opstå momenter i samlingen mellem flyder og arm, i armen selv, samt i lejerne.

De lodrette og vandrette kræfter vil give anledning til aksiale kræfter i armene, hvorved der kan opstå søjlevirkning i de forholdsvis lange arme. Det er vigtigt, at disse kræfter fastlægges for forskellige positioner af armen med henblik på både brud- og udbøjningsundersøgelser af armene. Den mest kritiske situation for hver konstruktionsdel med hensyn til orienteringen af den vandrette bølgekraft (Nord-Syd-Øst-Vest) skal lokaliseres for hver position af armen. Den vandrette bølgekræfts vilkårlige orientering er vist på principskiten på Figur 27 med stiplede røde pile.



Figur 27. Principskitse af angrebsretningerne for den vandrette bølgekraft.

Såfremt bølgeretningen 0° er langt den mest kritiske, kan retnings- og interaktionsfaktoren angivet i Tabel 33 nedsættes, hvorved den vandrette designlast nedsættes.

Appendiks G. Liste over video på DVD

Videoerne er optaget med et digitalt videokamera på bånd af typen mini DV, og overført til vedlagte DVD'er i original kvalitet. For at afspille videoerne på computeren kræves at et DV-codec er installeret. I nyere udgaver af Windows sørger afspillerprogrammet, såsom Windows Mediaplayer, normalt automatisk for installation af det nødvendige codec. Video for bølgeretningen 60° forefindes på samme DVD som de øvrige dokumenter, mens video for bølgeretningen 0° forefindes på en særskilt DVD.

Bølgeretning 0°, 40 stk. lette flydere

Filnavn*	Flydertype	Kamera position	Belastning	Bølge type	Højde	Periode
01	Flad tynd	Ende	8 Nm	R	H=0.05m	T=1.6sek
02	Flad tynd	Ende	8 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
03	Flad tynd	Ende	8 Nm	R	H=0.20m	T=1.6sek
04	Flad tynd	Ende	8 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
05	Flad tynd	Ende	40 Nm	R	H=0.05m	T=1.6sek
06	Flad tynd	Ende	40 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
07	Flad tynd	Ende	40 Nm	R	H=0.20m	T=1.6sek
08	Flad tynd	Ende	40 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
09	Flad tynd	Tandhjul	8 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
10	Flad tynd	Tandhjul	8 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
11	Flad tynd	Tandhjul	40 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
12	Flad tynd	Tandhjul	40 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
13	Flad tynd	Side	8 Nm	R	H=0.05m	T=1.6sek
14	Flad tynd	Side	8 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
15	Flad tynd	Side	8 Nm	R	H=0.20m	T=1.6sek
16	Flad tynd	Side	8 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
17	Flad tynd	Side	40 Nm	R	H=0.05m	T=1.6sek
18	Flad tynd	Side	40 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
19	Flad tynd	Side	40 Nm	R	H=0.20m	T=1.6sek
20	Flad tynd	Side	40 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
01t	Flad tyk	Ende	8 Nm	R	H=0.05m	T=1.6sek
02t	Flad tyk	Ende	8 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
03t	Flad tyk	Ende	8 Nm	R	H=0.20m	T=1.6sek
04t	Flad tyk	Ende	8 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
05t	Flad tyk	Ende	40 Nm	R	H=0.05m	T=1.6sek
06t	Flad tyk	Ende	40 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
07t	Flad tyk	Ende	40 Nm	R	H=0.20m	T=1.6sek
08t	Flad tyk	Ende	40 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
09t	Flad tyk	Tandhjul	8 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
10t	Flad tyk	Tandhjul	8 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
11t	Flad tyk	Tandhjul	40 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
12t	Flad tyk	Tandhjul	40 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
13t	Flad tyk	Side	8 Nm	R	H=0.05m	T=1.6sek
14t	Flad tyk	Side	8 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
15t	Flad tyk	Side	8 Nm	R	H=0.20m	T=1.6sek
16t	Flad tyk	Side	8 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
17t	Flad tyk	Side	40 Nm	R	H=0.05m	T=1.6sek
18t	Flad tyk	Side	40 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
19t	Flad tyk	Side	40 Nm	R	H=0.20m	T=1.6sek
20t	Flad tyk	Side	40 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
tyk&1kg 02	Flad tyk +1kg	Side	8 Nm	R	H=0.05m	T=1.6sek

*) Filnerne har navnet: Wave Star DVD nr 1 **.avi, hvor ** angiver serien

Bølgeretning 60°, 20 stk. tunge flydere

Filnavn*	Flydertype	Kamera position	Belastning	Bølge type	Højde	Periode
01	Tyskerhat	Side	8 Nm	R	H=0.05m	T=1.6sek
02	Tyskerhat	Side	8 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
03	Tyskerhat	Side	8 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
04	Tyskerhat	Side	20 Nm	R	H=0.05m	T=1.6sek
05	Tyskerhat	Side	20 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
06	Tyskerhat	Side	20 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
07	Tyskerhat	Ende	8 Nm	R	H=0.05m	T=1.6sek
08	Tyskerhat	Ende	8 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
09	Tyskerhat	Ende	8 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
10	Tyskerhat	Ende	20 Nm	R	H=0.05m	T=1.6sek
11	Tyskerhat	Ende	20 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
12	Tyskerhat	Ende	20 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
13	Ø200 kugle	Side	8 Nm	R	H=0.05m	T=1.6sek
14	Ø200 kugle	Side	8 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
15	Ø200 kugle	Side	8 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
16	Ø200 kugle	Side	20 Nm	R	H=0.05m	T=1.6sek
17	Ø200 kugle	Side	20 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
18	Ø200 kugle	Side	20 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
19	Ø200 kugle	Ende	8 Nm	R	H=0.05m	T=1.6sek
20	Ø200 kugle	Ende	8 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
21	Ø200 kugle	Ende	8 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek
22	Ø200 kugle	Ende	20 Nm	R	H=0.05m	T=1.6sek
23	Ø200 kugle	Ende	20 Nm	R	H=0.10m	T=1.6sek
24	Ø200 kugle	Ende	20 Nm	UR	Hs=0.10m	Tp=1.6sek

*) Filnerne har navnet: WS_60deg **.avi, hvor ** angiver serien
R er regelmæssige bølger, UR er uregelmæssige bølger.